

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2018

Bc. Václav Balwar

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Intelligentní jistící prvky pro elektrické instalace v
ostrovních sítích**

Smart protections designed for off-grid systems

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Václav Balwar**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: **Inteligentní jistící prvky pro elektrické instalace v ostrovních sítích**
Smart protections designed for off-grid systems

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je sestavit měřicí stanoviště pro měření inteligentních jistících prvků. Měřicí stanoviště bude poloautomaticky provádět kalibrační měření vybraných typů jistících prvků.

1. Seznámení se problematikou selektivity a jištění v ostrovních sítích. Vypracovat rešerši příslušných norem a přepisů.
2. Uveďte a popište několik běžně dostupných inteligentních jistících prvků na trhu používaných v ostrovních sítích.
3. Sestavte měřicí stanoviště pro kalibrační měření vybraných typů jistících prvků.
4. Změřte vypínací charakteristiky vybraných typů jistících prvků.
5. Porovnejte a zhodnoťte klasické jistící prvky a inteligentní jistící prvky. Proveďte analýzu vhodnosti použití jednotlivých jistících prvků v ostrovních sítích.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Hadjsaid, N., Sabonnadiere, J.-C., Smart Grids, první vydání, Wiley-ISTE, 2012, 350 s., ISBN: 978-1-84821-261-9
- [2] MISAK, S. and PROKOP, L., 2010. Off-grid power systems, 2010 9th Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEEIC 2010 2010, pp. 14-17.
- [3] MISAK, S. and PROKOP, L., 2010. Technical - Economic analysis of hybrid off-grid power system, Proceedings of the 11th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2010, EPE 2010 2010, pp. 295-300.
- [4] AHMAD, S., AHMAD, A. and YAQUB, R., 2017. Optimized energy consumption and demand side management in smart grid. Smart Technologies: Breakthroughs in Research and Practice. pp. 550-574.
- [5] ATES, Y., UZUNOGLU, M., KARAKAS, A. and BOYNUEGRI, A.R., 2014. The case study based protection analysis for smart distribution grids including distributed generation units, 12th IET International Conference on Developments in Power System Protection, DPSP 2014 2014, pp. 1-5.
- [6] ČSN EN 60255-151 Měřicí relé a ochranná zařízení - Část 151: Funkční požadavky pro nadproudovou/podproudovou ochranu. Praha: UNMZ, 2012, Třídící znak: 333432.
- [7] ČSN EN 60947-6-2 ed. 2 Spínací a řídicí přístroje nn - Část 6-2: Spínače s více funkcemi - Řídicí a ochranné spínací přístroje (nebo zařízení) (CPS). Praha: UNMZ, 2003, Třídící znak: 354101.
- [8] ČSN EN 60947-2 ed. 3, Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 2: Jističe. Praha: UNMZ, 2007, Třídící znak: 354101.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

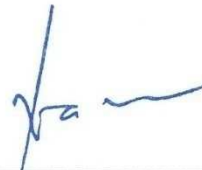
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Hrbáč, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 29. 4. 2018



.....
Bc. Václav Balwar

Poděkování:

Tímto chci poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Romanu Hrbáči, Ph.D. za cenné rady, připomínky a pomoc při tvorbě této práce jakožto i měřicího stanoviště. Dále chci poděkovat Bc. Michalu Zubrovi a otci Václavu Balwarovi za podnětné nápady a nezávislé pohledy na vyskytlé problémy.

Také chci poděkovat firmě ABB za zapůjčení jejich zařízení pro možnost testování na novém poloautomatickém měřicím stanovišti.

Abstrakt:

Tato práce se zabývá především návrhem měřicího stanoviště pro nastavování a diagnostiku inteligentních jisticích prvků ostrovní energetické sítě. Doplnujícím použitím tohoto stanoviště je ověřování parametrů elektromechanických jističů. V práci je popsána problematika jištění v ostrovních sítích, následně jsou popsány ochrany použité v těchto systémech. Dále jsem zpracoval projekt poloautomatizovaného měřicího stanoviště včetně výroby. Na závěr jsou naměřeny a vyhodnoceny vlastnosti a použití jističe a dvou digitálních nadproudových ochran v malých ostrovních systémech.

Klíčová slova:

Testování nadproudových ochran, chránění ostrovního systému, testování jističe, charakteristika jističe, charakteristika ochran, IED, selektivita ochran, měřicí stanoviště

Abstract:

This thesis is focused on the design of the measuring station for settings and diagnosings the intelligent protection elements of the off-grid power systems. The complementary use of this station is to verify the parameters of the electromechanical circuit breaker. The thesis describes the problem of protection in off-grid power system, and later I solved the protection used in these systems. Furthermore, I designed a semi-automated measuring station including own production. Finally, I have measured and evaluated the properties and use of circuit breakers and two digital over current protections in small off-grid systems.

Key words:

Measurement of over-current protection, protection of off-grid systems, testing circuit breaker, circuit breaker characteristic, protection characteristic, IED, protection selectivity, measuring stations

Obsah:

Úvod:.....	1
1. Selektivita a jištění v ostrovních sítích	2
1.1. Úvod do problematiky.....	2
1.2. Charakteristika malých zdrojů	2
1.3. Elektronické zdroje	3
1.4. Chránění ostrovní sítě.....	4
1.4.1. Nadproudová a zkratová ochrana.....	4
1.4.2. Podpěťová spoušť.....	4
1.4.3. Analogové ochrany	5
1.4.4. Digitální ochrany.....	5
1.4.5. Další doplňkové ochrany.....	7
1.5. Základní požadavky na jistící přístroje	7
1.5.1. Jištění.....	7
1.5.2. Selektivita, kaskádování.....	9
1.6. Testování jisticích přístrojů a nadproudových relé	11
1.6.1. Vypínání v podmínkách zkratu	11
1.6.2. Vypínání v podmínkách přetížení	11
1.6.3. Požadavky na testování elektronických ochran.....	13
2. Popis inteligentních ochran	16
2.1. Ochrana Arion jističů	16
2.2. Ochrana typu SPAJ	16
2.3. Ochrana typu REF.....	19
2.4. Prototypová ochrana PMS-01	22
3. Návrh měřicího stanoviště pro kalibraci a ověřování jisticích prvků.	24
3.1. Specifikace měřicího stanoviště	24
3.2. Prvotní testování.....	24
3.2.1. Transformátor a elektronická zátěž	24
3.2.2. Autotransformátor a transformátor.....	25
3.3. Transformátor.....	26
3.4. Uchycení vodičů.....	30
3.5. Výkonový stykač.....	32
3.6. Pomocný měřicí transformátor proudu.....	34

3.7.	Svorky proudového obvodu	34
3.8.	LEM senzory měření proudu.....	35
3.9.	Měřicí karta	37
3.10.	Uložení silových a datových vodičů, souběh vodičů, stínění.....	40
3.11.	Rozvaděč, vybavení rozvaděče	40
3.12.	Tlumicí rezistor, měřicí rozsah.....	44
3.13.	Autotransformátor	45
3.14.	Ochrana před úrazem elektrickým proudem	46
3.15.	Softwarová část	46
4.	Měření charakteristik jističe a digitálních ochran.....	49
4.1.	Měření jističe.....	49
4.2.	Měření digitální ochrany SPAG 332 C	50
4.3.	Měření digitální ochrany REF615 F.....	52
5.	Vyhodnocení měření	53
5.1.	Naměřené parametry jističe.....	53
5.2.	Naměřené parametry digitálních ochran	55
5.3.	Zhodnocení použitelnosti jednotlivých typů ochran	60
5.3.1.	Chránění proti zkratu.....	60
5.3.2.	Chránění proti přetížení.....	60
5.3.3.	Finanční a praktické zhodnocení.....	61
5.3.4.	Shrnutí	61
Závěr:	62
Zdroje	64
Seznam příloh:	66

Seznam zkratek:

AD	Analogové digitální
DSP	Digitální procesor pro zpracování signálu
GOOSE	Komunikační protokol mezi ochranami
GPIB	Komunikační linka měřících zařízení
IED	Inteligentní elektronické zařízení (Intelligent Electronic Device)
LAN	Místní ethernetová síť
LHMI	Místní rozhraní ovládání (Local Human Machine Interface)
MTP	Měřicí transformátor proudu
NN	Nízké napětí
PELV	Síť bezpečného napětí s uzemněným jedním pólem
PLC	Programovatelný logický automat
ppm	části z milionu (Parts per milion)
PVC	Polyvinylchlorid - materiál izolace kabelu
RS232	Standard sériové linky
SCADA	Systém pro dispečerské řízení a sběr dat
SELV	Síť bezpečného napětí s neuzemněným jedním pólem
SSR	Solid State Relay
TRIP	Rychlý binární signál mezi ochranami po přenos informace
VN	Vysoké napětí
WHMI	Webové rozhraní ovládání (Web Human Machine Interface)

Seznam ilustrací:

Obr. 1 - Zatěžovací křivka zdrojů [15].....	3
Obr. 2 - Blokové schéma výkonové části měniče 24/230V 1500W.....	3
Obr. 3 - Průběh napětí a proudu na výstupu invertoru v době zkratu [16].....	4
Obr. 4 - Selektivita jističů s podpětíovou spouští (Při podpětí vybaví spouště jističů Q2 až Q4)	5
Obr. 5 - Blokové schéma funkce ochrany (ČSN 60255-151)[6].....	6
Obr. 6 - Charakteristika klasického jističe (vlevo) a digitální ochrany MTV9 výkonového jističe Arion (vpravo)[18]	8
Obr. 7 - Selektivita ochrany (digitální ochrany OEZ).....	10
Obr. 8 - Typický průběh proudu pro zkoušku proudového přesahu (podoba zkratového proudu v síti)[6]	15
Obr. 9 - Ochrana SPAJ 140 C [23].....	16
Obr. 10 - Signálové schéma ochrany SPAJ 140 C [23]	17
Obr. 11 - Ochrana REF615 [21].....	19
Obr. 12 - Časově závislé charakteristiky dle IEC 60255-1	21
Obr. 13 - Nulování ochrany [7].....	22
Obr. 14 - Vypínací křivky, zatěžovací charakteristika [25]	23
Obr. 15 - Druhé testování (různé jističe vlevo dole)	25
Obr. 16 - Schéma měřicího stanoviště (Náhled - originál v příloze).....	26
Obr. 17 - Izolační vrstva transformátoru	29
Obr. 18 - Navinutý transformátor.....	30
Obr. 19 - Uchycení transformátoru	30

Obr. 20 - Stykač 24V DC 200A bez krytu	33
Obr. 21 - Pomocný měřicí transformátor proudu 200/5 A	34
Obr. 22 - Schéma LEM senzoru s uzavřenou smyčkou [10].....	35
Obr. 23 - Modul LEM senzorů (LA55-P nahoře, LA200-P dole).....	36
Obr. 24 - Měřicí karta USB 6210	39
Obr. 25 - Rozmístění portů karty USB6210 [14]	39
Obr. 26 - Zapojovací výkres rozvaděče (Náhled - originál je v příloze).....	41
Obr. 27 - Foto rozvaděče měřicího stanoviště.....	41
Obr. 28 - Rezistory R10 (vlevo) a R100 (vpravo).....	44
Obr. 29 - Autotransformátor s nekrytým jezdcem	45
Obr. 30 - Program kalibrace měřicího stanoviště.....	47
Obr. 31 - Program pro měření	48
Obr. 32 - Měřený jistič Neptun L 6 A	49
Obr. 33 - Zapojení jističe na panelu	50
Obr. 34 - Digitální ochrana SPAG 332 C.....	51
Obr. 35 - Pohled na celé pracoviště při měření	51
Obr. 36 - Relé v přidržném zapojení, jistič pracuje pouze v roli vypínače	52
Obr. 37 - Vypínací křivka jističe Neptun 2000	54
Obr. 38 - Charakteristika jističe OEZ LSF L 6 A [19].....	54
Obr. 39 - Srovnání naměřené závislosti a vypočtené závislosti vypínacího času na nadproudu.....	57
Obr. 40 - Přiblížení naměřené vypínací charakteristiky proudu ochrany SPAG 332	58
Obr. 41 - Srovnání naměřené a vypočtené vypínací charakteristiky ochrany REF 615.....	58
Obr. 42 - Relativní odchylka časování od ideální křivky.....	59

Seznam tabulek:

Tab. 1 - Smluvené hranice vypínacího proudu dle ČSN EN 60947-2 [8].....	8
Tab. 2 - Hodnoty proudu elektromagnetické zkratové ochrany	8
Tab. 3 - Předepsané násobky proudu pro testování časově závislých ochran dle typu zatížení (ČSN 60947-6-2 ed. 3)[7].	12
Tab. 4 - Doby vypnutí pro kategorie užití AC-42, AC-43, AC-44, DC-43, DC-45[7]	12
Tab. 5 - Doporučené hodnoty pro měření nadproudových časových chyb rozběhu.[6]	14
Tab. 6 - Doporučené hodnoty pro měření nadproudových časových chyb nulování.[6]	14
Tab. 7 - Doporučené hodnoty pro zkoušku odezvy dle křivky[6].....	15
Tab. 8 - Konstanty vypínací charakteristiky dle IEC 60255 (ČSN EN 60255-1)	20
Tab. 9 - Naměřené parametry transformátoru	28
Tab. 10 - Rozměry vinutí transformátoru a vývodů	28
Tab. 11 - Hodnoty uvedené v katalogovém listu LEM senzorů [11][12]	35
Tab. 12 - Chyby měření měřicí karty USB 6210 [13].....	38
Tab. 13 - Koeficienty účinné chladicí plochy rozvaděče [20].....	42
Tab. 14 - Ztrátové výkony zdrojů.....	42
Tab. 15 - Ztrátové výkony jističů a stykačů	42
Tab. 16 - Naměřené hodnoty charakteristiky jističe.....	53
Tab. 17 - Naměřené a vypočtené hodnoty ochrany SPAG 332.....	55
Tab. 18 - Naměřené a vypočtené hodnoty ochrany REF 615.....	56

Úvod:

Dnešní nové objekty stále častěji využívají vlastní energetické zdroje. Jedná se převážně o fotovoltaické systémy s hybridním nebo síťovým provozem. Nezřídka však dnes vznikají soběstačné domy bez přípojky elektřiny ze sítě. Bateriové systémy v objektech pokryjí noční spotřebu a přes den uloží nespotřebovanou energii. Nebezpečí však vzniká, když je málo slunečných dnů, velká neočekávaná spotřeba energie či jiné nestandardní stavy. Aby nedošlo k podbití baterií nebo úplnému výpadku dodávek je třeba systém rozdělit do více částí dle priorit napájení. Také je třeba řešit situace přetížení nebo nahodilého zkratu. Není žádoucí vypnout celý objekt od energie při běžné poruše. Navíc škody za nečekaný výpadek počínaje vymraženým mrazákem a konče výpadkem zabezpečovacího zařízení a počítačů mohou jít i do desetitisíců korun. Proto je třeba věnovat dostatečnou pozornost správnému návrhu selektivity jištění v objektu.

Tato práce je zaměřena na problematiku chránění ostrovních sítí. V rámci řešení je žádané nalézt existující možnosti chránění a vypracovat analýzu využitelnosti v běžné domácnosti. Selektivita v ostrovních sítích s elektronickými zdroji (měniči) není příliš známa. Nelze tedy předpokládat běžné chování jištění, jako u zdrojů točivých, kde zkratové proudy mnohonásobně převyšují jmenovité hodnoty. Z tohoto důvodu je srovnána běžný jisticí prvek a dostupné inteligentní ochrany. Součástí je i průzkum trhu a nalezení vhodných kandidátů splňujících i další požadavky.

Pro možnost testování těchto ochran samostatně nebo ověřování vhodného nastavení selektivity je dále navrženo měřicí stanoviště s poloautomatickým provozem. V budoucnu je plánován i automatizovaný provoz stanoviště pro inteligentní ochrany. Zařízení je určeno i k použití při laboratorních úlohách, což zvyšuje nároky na jednoduchost pro nezaškolenou obsluhu. Výsledkem funkčního měřicího stanoviště jsou zaznamenané parametry ochran. Tyto parametry jsou důležité pro zhodnocení použitelnosti nalezených zařízení a jejich nasazení v ostrovních sítích.

1. Selektivita a jištění v ostrovních sítích

1.1. Úvod do problematiky

Ostrovní zdroje malého výrobního výkonu v řádech až stovkách kilowatt pro napájení různých objektů, počínaje rodinným domem nebo chatou, přes bezpečnostní systémy v průmyslu nebo ropném odvětví, se potýkají s problematikou chránění jak napájených zařízení, tak i zdroje před účinky havarijních stavů. Přetížení napájeného zařízení lze chránit například tepelnými nadproudovými ochranami a v případě zkratu tavnou pojistkou nebo jističem. To platí pouze v případě dostatečně tvrdého zdroje. Klasickým případem malého zdroje může být ostrovní fotovoltaická elektrárna.

Pro ilustraci mějme invertor 48/230V 1,5kW. Špičkový výkon zdroje výrobce uvádí 3kW po dobu 1 sekundy. Máme-li zdroj, který můžeme označit za "měkký" (jeho zkratový výkon se blíží hodnotě špičkového výkonu zatížení), nelze spoléhat na reakci zkratového jističího prvku (pojistky nebo elektromagnetické spouště jističe) pokud proud nedosáhne dostatečné hodnoty na vybavení a zároveň vybaví rychleji než ochrana zdroje. Tepelný nadproudový jističí prvek má dlouhou časovou konstantu a pravděpodobně dojde k reakci ochrany uvnitř elektronického zdroje. Tato situace je nežádoucí. Vzhledem k tomu, že se nepředpokládá zapojení pouze jednoho spotřebiče ke zdroji, ale několika okruhů s různými spotřebiči, je třeba vyhodnotit větev s poruchou a následně ji odpojit, aniž by došlo k reakci ochrany zdroje.

Druhým problémem může být přetížení zdroje z různých napájených větví. Zde zareaguje jističí prvek chránící zdroj před přetížením a odpojí napájení celé sítě. Přetížení jednotlivých větví zde není. Budeme-li mít pět větví a každá s příkonem 400W, jističí prvek dimenzován na odběr jedné větve 500W nezareaguje. Součet odběru všech pěti větví ovšem překračuje hranici jmenovitého výkonu zdroje. Zde je tedy žádoucí odpojit větev s nejnižší prioritou napájení v daný okamžik v rámci zachování napájení důležitějších systémů. V domácnosti s ostrovní sítí například potřebujeme zachovat napájení lednice, zabezpečovacích a monitorovacích systémů, osvětlení popřípadě jiných důležitých částí. Méně důležitý může být například ohřev vody, televize apod. Každopádně uživatel této sítě by měl být předem systémem informován o vypnutí. Důležitým prvkem je ochrana akumulátorů před vybitím. Tento hlídací mechanismus musí také zasahovat a řídit spotřebu často na úkor pohodlí uživatele kvůli zachování napájení a ale i dlouhé životnosti akumulátorů.

Inteligentní ochrany musí být schopny rychlé reakce na poruchové stavy jednotlivých napájených částí a zároveň koordinovaného odpojení napájení okruhů podle předem nastavených priorit u přetížení, podbití, nedostatku energie atd.

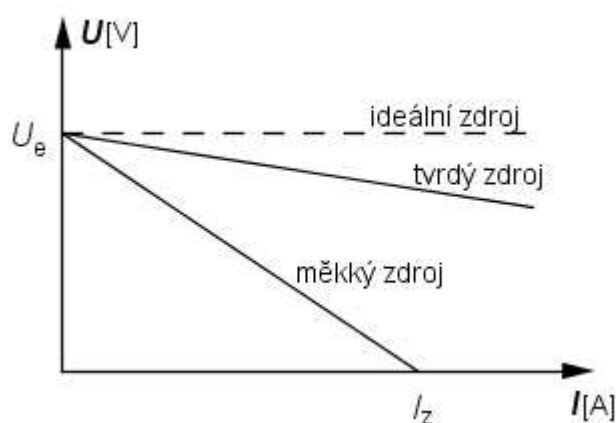
1.2. Charakteristika malých zdrojů

Zdroje v ostrovních sítích jsou definovány jako měkké zdroje. Pod pojmem měkký zdroj se rozumí velký pokles napětí v závislosti na proudu. Patrný rozdíl je odvoditelný z grafu (Obr. 1). Tvrdý zdroj v poruchovém stavu dodává velké zkratové proudy vlivem nízké impedance zdroje i obvodu. U měkkého zdroje dojde vlivem zkratu k poklesu napětí blízkému nule. Impedance zkratového obvodu je ve srovnání s vnitřním odporem zdroje velmi nízká. Úbytek napětí tedy vznikne na vnitřním odporu zdroje. Měkké zdroje lze dále dělit na mechanické a elektronické.

Pod mechanickými zdroji si lze představit například benzínové nebo diesel generátory, větrné elektrárny, malé vodní elektrárny nebo jiné zdroje, kde je použita přeměna mechanické práce na elektrickou. Tyto zdroje s největší pravděpodobností neutrpí újmu při krátkodobém zkratu nebo

přetížení. Jejich mechanická setrvačnost napomůže k vyššímu zkratovému proudu, čímž je zaručena spolehlivější reakce zkratových ochran. Vlivem vzniku tepla podle vzorce $Q = R \cdot I^2 \cdot t$ dochází k ohřevu vinutí. Vinutí je uloženo v magnetickém obvodu odebírající vzniklé teplo. Tímto lze dosáhnout delší nastavení času reakce ochran při volbě selektivity jištění. Nesmí se zanedbat pokles otáček hřídele pod kritickou mez v době zotavení napětí, proto jsou ochrany vybaveny i podfrekvenční a nadfrekvenční spouští.

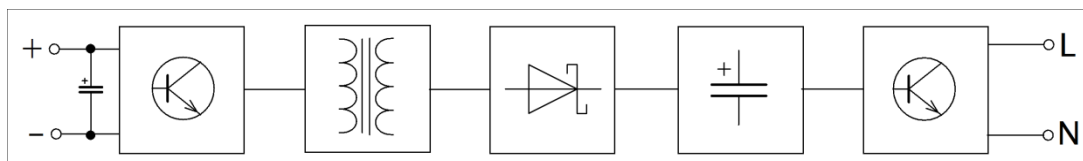
Elektronické zdroje, jako jsou měniče kmitočtu, invertory, UPS zdroje a podobně, lze charakterizovat jako velmi měkké zdroje s malou zkratovou odolností. Zde je třeba tedy co nejrychlejší reakce ochran, ale je nutné zároveň eliminovat chybné vybavení ochran.



Obr. 1 - Zatěžovací křivka zdrojů [15]

1.3. Elektronické zdroje

Vzhledem k horšímu jištění elektronických zdrojů se zde elektrickými stroji nebudu již dále zabírat. Konstrukce střídače spočívá v transformaci z hladiny napětí baterie na hladinu napětí amplitudy výstupního napětí, usměrnění (k transformaci může být použit spínaný zdroj s vyšší frekvencí), následné filtraci a následně polovodičového střídače. Předpokladem tedy je ochránit polovodiče střídačového a transformačního bloku, jakožto i samotného transformátoru před tepelnou destrukcí u zkratu a dlouhodobého přetížení. V místě zkratu nedochází k tak velkým tepelným účinkům jako ve zdroji. Celý problém spočívá v polovodičových prvcích, kdy vzniká velký úbytek napětí na PN přechodech a tím i vývinu tepla. Teplo nelze akumulovat a odvádět v takové míře, aby byla přetížitelnost srovnatelná s točivými stroji. Ochrana zdroje musí tedy reagovat velmi rychle. Použitím kapacity ve filtraci dojde u zkratu ke krátkodobé proudové špičce. Lze použít různé druhy mechanismů jako elektronické pojistky vyhodnocující úbytek na bočníku, podpěřové jištění, PPTC pojistky nebo klasické tavné s charakteristikou pro ochranu polovodičů.



Obr. 2 - Blokové schéma výkonové části měniče 24/230V 1500W

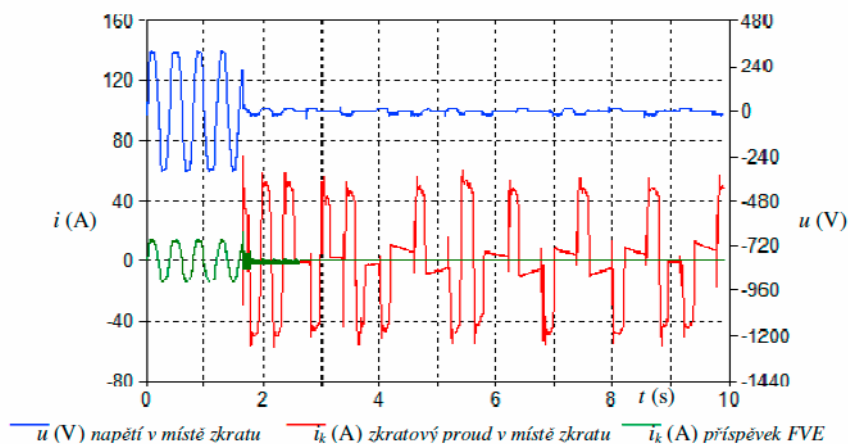
1.4. Chránění ostrovní sítě

1.4.1. Nadproudová a zkratová ochrana

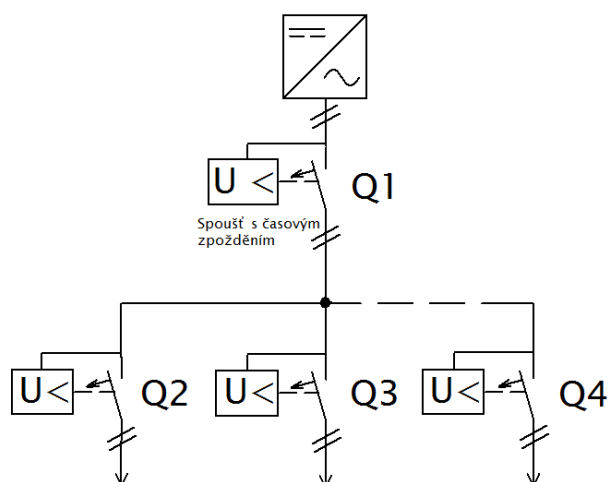
Jednou z možností pro použití sériově vyráběné tepelné nadproudové a elektromagnetické zkratové ochrany je velké naddimenzování zdroje. Pokud zdroj dodá dostatečný výkon pro vybavení nadproudového stupně za předpokladu maximálního odběru ostatních větví, který je roven maximálnímu instalovanému příkonu na dalších větvích a zároveň dodá dostatečný proud pro vybavení nadproudové ochrany při zkratu, je možná správná selektivita jištění. To platí i pro pojistky. Tato varianta nepříznivě zvyšuje náklady na instalaci. Zkratový proud zdroje dosahuje hodnot od 1,2 až do 3 násobku I_n . Je třeba velmi naddimenzovat měniče, vedení k akumulačnímu bloku a jističe prvky před invertorem. Jističe vyrábí řada firem jak pro DC tak i AC napětí a v různých hodnotách jmenovitého proudu. Pro jističe z řady OEZ Minia se zkratová spoušť charakteristiky B pohybuje v rozmezí 3 - 5 násobek I_n . Nadproudová spoušť zaručeně reaguje od 1,43 násobku I_n .

1.4.2. Podpět'ová spoušť

Díky zatěžovací charakteristice zdroje víme, že napětí na zdroji v době zkratu klesne úměrně impedanci zkratového obvodu. Náznorné zobrazení je na Obr. 3. Nabízí se použití podpět'ového členu společně s nadproudovým. Při poklesu napětí celé sítě v době zkratu zareaguje zkratová spoušť, pokud ne ve stejnou dobu dojde k náběhu podpět'ového členu a ihned nebo se zpožděním dojde k vybavení spouště. Nežádoucím jevem v tomto případě bude vybavení všech podpět'ových členů v síti (Obr. 4) se stejným nebo nižším reakčním časem. Uživatel tedy ani není schopen zjistit, která z větví je postižená. Pro alespoň částečnou selektivitu by bylo třeba provést časové nastavení systémem, aby byla podpět'ovou spouští odpojena větev od nejnižší priority po nejvyšší. Dojde-li k poruše ve větvi nejnižší priority, bude vypnuta jen tato větev. Pokud vznikne porucha ve větvi nejvyšší priority, dojde k vypnutí všech větví. Tímto již jsme schopni při správně nastavené selektivě času podpět'ových stupňů zjistit postiženou větev. Běžný uživatel ovšem nemusí být schopen zjistit která větev je postižená. Použití v průmyslových aplikacích, kde je prioritní dodávka energie, je pouze jako doplňkové při náhodném selhání. Dále pak musí být reakce podpět'ového stupně rychlejší nežli ochrany zdroje.



Obr. 3 - Průběh napětí a proudu na výstupu invertoru v době zkratu [16]



Obr. 4 - Selektivita jističů s podpětovou spouští (Při podpětí vybaví spouště jističů Q2 až Q4)

1.4.3. Analogové ochrany

Ochrany s polovodičovými prvky. Ochrany vyžadují dodatečné napájení z externího zálohovaného zdroje. Výhodou je přesné nastavení hodnot pro nadproudový stupeň a různé sklony charakteristik. Výrobce slibuje dlouhodobou spolehlivost a stabilitu parametrů. Další výhodou je vlastní nastavení hodnot a průběhu nadproudové charakteristiky oproti jističům. Vstupy těchto ochrany jsou pro měřicí transformátory proudu se jmenovitou hodnotou 1 nebo 5 A. Využití je možné v kterékoliv napěťové hladině. Tyto ochrany jsou často součástí výkonových vypínačů v sítích NN. Dnes jsou tyto ochrany často nahrazovány digitálními ochranami.

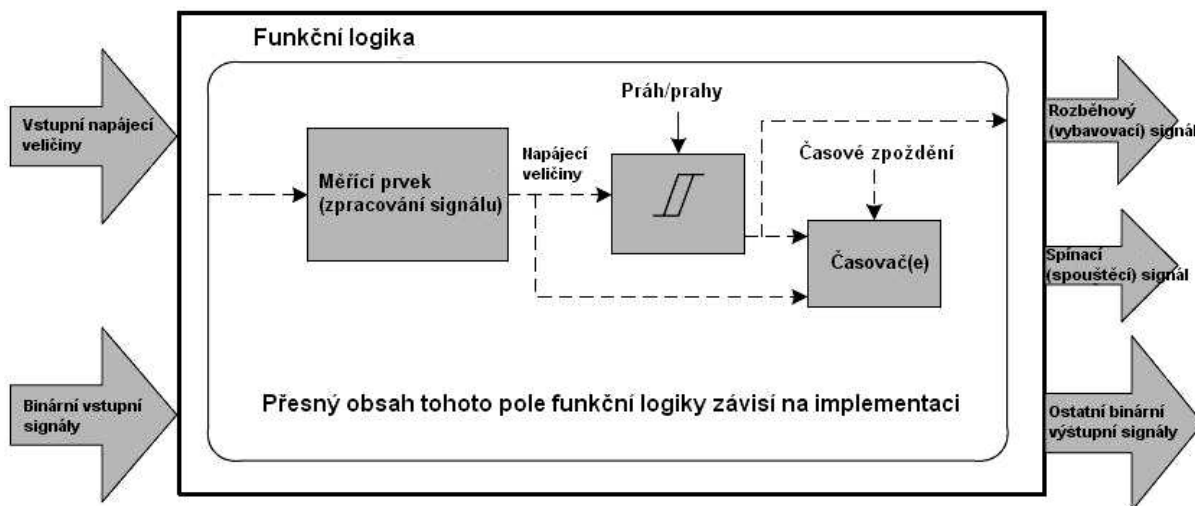
1.4.4. Digitální ochrany

Další varianta je použití digitálních ochrany vyhodnocující proud dané větve v reálném čase pomocí algoritmu s využitím DSP procesoru. Ochrana je také schopna měřit napětí a tím vyhodnocovat poruchu nesplňující nastavený zkratový proud časově nezávislého stupně. Také reakce ochrany na poruchu v síti je rychlejší než u tepelných nebo elektromagnetických spouští jističe. Další výhodou je vlastní nastavení hodnot a průběhu nadproudové charakteristiky.

Užitím ochrany na bázi distančních ochrany vyhodnocující impedanci obvodu umí ochrana vyhodnotit poruchu v obvodu v první čtvrtině půlvlny a velmi rychle reagovat. Impedance se i při nízkém napětí dá vyhodnotit. Zde hraje roli pouze rozlišení AD převodníku a možná chyba měření nízkého napětí. Impedance odpovídá konstantě u kterýchkoliv vzorků z průběhu kromě nuly a malých nerozeznatelných hodnot pro AD převodník. Ty se dají kompenzovat změnou zisku signálu do určité meze rušení. Tato ochrana je také schopna zjistit, zda je porucha na chráněné větvi nebo vedlejší, což eliminuje chybné vybavení. Ochrana nereaguje na nadproudy.

Vlastnosti digitálních ochrany napomáhají k velmi rychlé eliminaci zkratu, upozornění na nadproud a časově závislé odpojení přetížení. Nové ochrany mají i měření Real-time napětí a proudů, což se hodí pro dohled nad odběry a následného řízení ostrovního systému jako například spotřeba - výroba - akumulace. Ochrany využívají převážně standardního analogového vstupu z měřicích transformátorů 1/5A a 100V, což se odvíjí od jejich využití hlavně v napěťových hladinách VN a VVN. Vzhledem k nenalezení ochrany pro malé NN zdroje cena pro využití v domácích podmínkách při použití několika ochrany je nemyslitelná. Pro provoz je třeba uvážit možné škody na majetku a životech při výpadku napájení z těchto systémů. Dále ochrany disponují digitálními

vstupy pro zpětnou vazbu od spínačů a odpojovačů a také důležité vstupy typu "trip". Tyto vstupy disponují okamžitým softwarovým obslužením a reakce ochrany na tyto vstupy. Lze je tedy použít pro propojení s jinými ochranami, havarijní stavy nebo skupinové vypnutí vývodů od nadřazené ochrany. Nutností pro použití těchto ochrany je napájení z pomocného zálohovaného zdroje. Také jsou již volitelnou součástí výkonových vypínačů NN.



Obr. 5 - Blokové schéma funkce ochrany (ČSN 60255-151)[6]

Digitální ochrany mají implementovány důležité bloky, které vyhodnocují a zpracovávají signál. Jedná se o:

- Vstupní člen - Přizpůsobení měřené veličiny od jisticích transformátorů pomocí bočníků I/U, galvanické oddělení a AD převod pro další zpracování
- Popudový člen - Nejcitlivější člen, vyhodnocuje vznik poruchy a spouští měření.
- Logický člen - Zpracovává binární signál z popudového členu a ovládá měřicí člen, výstupem z měřicího členu ovládá koncový člen. Dále jsou zde přivedeny binární signály "trip" pro vybavení nebo blokování.
- Měřicí člen - Vyhodnocuje měřenou veličinu s nastavenou hodnotou. Na tomto členu závisí citlivost, selektivita a přesnost. Členů je více druhů např. časově závislý, amplitudový, fázový, rozdílový apod.
- Časový člen - Prodlužuje dobu působení ochrany pro zvýšení selektivity, umožnění přetížení (proudový ráz) a vyloučení chybného působení ochrany.
- Koncový člen - Člen, jenž zajišťuje vypínání a výkonového prvku, výstupy trip nebo signalizaci poruchového stavu

Dále zde mohou být bloky s filtry harmonických složek nebo stejnosměrné složky a důležitý napájecí zdroj ochrany. U digitálních ochrany je velká část členů počínaje popudovým a konče časovým softwarově implementována do procesoru ochrany. Jelikož tyto ochrany nesmějí selhat, klade se velký důraz na preciznost hardwaru a debugging softwaru, odolnost vůči EMC a časová či teplotní stabilita parametrů.

1.4.5. Další doplňkové ochrany

Díky měřicí a komunikační schopnosti digitálních ochrany je eliminována potřeba dalších měřicích členů pro sledování a vyhodnocování stavu sítě. U ostrovní sítě může nastat stav, kdy odběrové zařízení vyšší příkon než je jmenovitý výkon zdroje a dochází k přetěžování zdroje. Zdroj je schopen po určitou dobu napájet všechna zařízení avšak vlivem přetížení rostou tepelné ztráty a zdroj se po zvýšení teploty nad limit nebo uplynutí času časově závislé charakteristiky vypne nebo jej vypne ochrana za výstupem zdroje. Tomuto stavu lze předejít použitím PLC automatu nebo počítačového řízení, kdy počítač přes komunikační linky (RS485, Modbus, Ethernet apod.) načítá aktuální odběry a odpojit včas danou větev s nepřiměřeným zatížením nebo větev s odběrem v tu chvíli nepotřebným, jak jsem již psal výše.

Pro fotovoltaické ostrovní aplikace nebo průmyslové zálohovací aplikace je třeba počítat i s výdrží baterií. V domácím provozu dojde s pravděpodobností při vybití baterií jen k nepohodlí bez ztrát na životech. V průmyslových aplikacích, kde napájení havarijních systému a ovládání hraje významnou roli, si nesmíme dovolit plošný výpadek systému při vybití baterií. Pokud bude potřeba, budou kaskádovitě vypínány nejméně prioritní systémy.

1.5. Základní požadavky na jistící přístroje

Tyto požadavky jsou definovány v předmětových normách pro jistící přístroje. Aby mohl být jistící přístroj používán, musí splňovat podmínky dané normou. Dále jsou v normách definovány zkoušky a mezní hodnoty pro daný jistící přístroj. Mezi hlavní požadavky patří:

- Jištění poruchových stavů
- Selektivita a kaskádování
- Připojitelnost
- Samočinné odpojení od zdroje
- Dálkové vypínání, signalizace, rozměry, ztráty

1.5.1. Jištění

Jištění musí umožnit provoz zařízení na jmenovité hodnotě odběru, jistit proti přetížení a zkratu. Pro jištění vedení a zařízení krátkodobě přetížitelných (vedení, transformátory) je uveden vztah: $I_{nJP} \leq I_{nEZ}$, kde I_{nJP} je jmenovitý proud jisticího prvku a I_{nEZ} je zatěžovací proud vedení nebo zdroje. Pro spotřebiče, kde je ochrana proti přetížení zajištěna jiným způsobem, je tento vztah opačný: $I_{nJP} \geq I_{nES}$, kde I_{nES} je jmenovitý proud spotřebiče.

U_n - Jmenovité pracovní napětí vyjadřuje hodnotu napětí, které je jistič schopen bezpečně a spolehlivě vypnout. Většinou uváděna fázová a sdružená hodnota napětí pro AC anebo hodnota pro DC. Uvedená je i frekvence, pro kterou je jistící prvek konstruován popřípadě označení svorek + a - pro DC jističe nebo symbolem. Od tohoto napětí se odvíjí i zkratová odolnost zařízení. S nižším napětím sítě se hodnota vypínacího proudu I_v zvyšuje.

I_n - Jmenovitý proud vyjadřuje hodnotu proudu, u kterého jistící prvek nesmí vybavit. Vypínací proud vyjadřuje hodnotu zkratového proudu, který je jistící prvek schopen bezpečně a spolehlivě vypnout bez poškození jisticího zařízení.

Vypínací charakteristika vypovídá o reakci jisticího prvku na velikosti proudu. Charakteristiky mohou být časově závislé a nezávislé, nabývat různých funkcí a sklonů. U tepelných

spouští je charakteristika exponenciální, elektromagnetických spouští lineární. Elektronické ochrany mají převážně lineární funkce (Obr. 4).

Nadproudové spouště dle ČSN EN 60947-2 nereagují do určených hodnot v tabulce a musí reagovat do hodnoty násobku I_n zvolené charakteristiky. Norma ČSN EN 60898-1 se vztahuje na jističí zařízení v domácnostech a podobném použití. Pokud výrobce deklaruje tepelnou nezávislost na okolí, musí odchylka hodnoty proudu nabývat maximálně $0,3 \% \cdot K^{-1}$, a to v rozmezí $\pm 10^\circ C$ od referenční hodnoty. Pro vlivy okolní teploty na ochrany jsou uvedeny podmínky dále v normě.

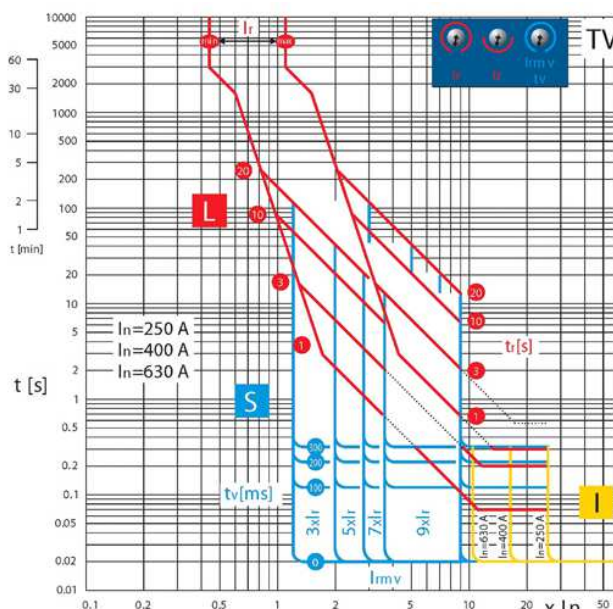
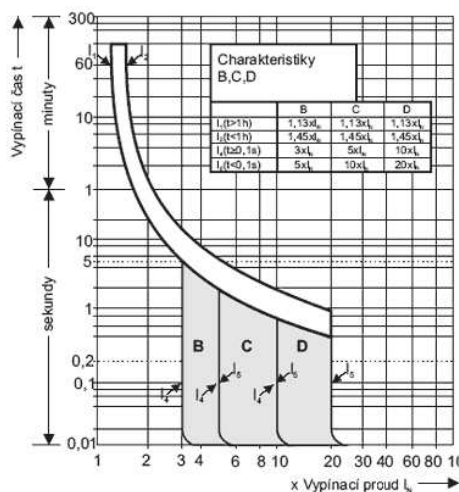
Zkratové spouště mají své hodnoty určeny podle své časově nezávislé charakteristiky. Zkratové spouště musí vypnout ve všech možných nastavených hodnotách s odchylkou $\pm 20\%$ zkratového proudu.

Tab. 1 - Smluvené hranice vypínacího proudu dle ČSN EN 60947-2 [8]

Jmenovitý proud	Smluvený nevypínací proud	Smluvený vypínací proud
ČSN EN 60947-2		
$\leq 63 A$	$1,05 \cdot I_n$ pro $t \leq 1h$	$1,3 \cdot I_n$ pro $t < 1h$
$> 63 A$	$1,05 \cdot I_n$ pro $t \leq 2h$	$1,3 \cdot I_n$ pro $t < 2h$
ČSN EN 60898-1		
$\leq 63 A$	$1,13 \cdot I_n$ pro $t \leq 1h$	$1,45 \cdot I_n$ pro $t < 1h$
$> 63 A$	$1,13 \cdot I_n$ pro $t \leq 2h$	$1,45 \cdot I_n$ pro $t < 2h$

Tab. 2 - Hodnoty proudu elektromagnetické zkratové ochrany

Charakteristika jističe	Proud zkratové spouště	Použití
B	$(3 \div 5) \cdot I_n$	Vedení, zas. okruh, osvětlení ...
C	$(6 \div 9) \cdot I_n$	Motorové vývody, žárovkové skupiny
D	$(12 \div 16) \cdot I_n$	Transformátory



Obr. 6 - Charakteristika klasického jističe (vlevo) a digitální ochrany MTV9 výkonového jističe Arion (vpravo)[18]

I_{cu} - Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost je schopnost jističe vypnout zkratový proud při jmenovitém napětí a frekvenci sítě a stanoveném účinku střídavého proudu nebo stanovené časové konstantě vypnutí pro stejnosměrný proud. Oba tyto parametry jsou uvedeny v příloze normy ČSN EN 60649-6-2 ed. 2. Je tedy vyjádřen jako maximální efektivní hodnota vypínacího střídavého proudu

v obvodu. Po tomto zkratovém proudu nemusí jistící zařízení být schopno funkce, musí však za všech okolností bezpečně vypnout.

I_{cs} - Jmenovitá provozní zkratová vypínací schopnost. Jistící zařízení musí bezpečně vypnout tuto hodnotu zkratového proudu a musí být schopno další funkce za omezených podmínek.

I_{cm} - jmenovitá zapínací schopnost. Vyjadřuje hodnotu udanou výrobcem, kterou je jistící prvek schopen při jmenovitém napětí a frekvenci sítě a stanoveném účinku střídavého proudu nebo stanovené časové konstantě vypnutí pro stejnosměrný proud zapnout a následně vypnout. Jedná se o předpokládanou maximální hodnotu vrcholového proudu. Norma uvádí, že musí být větší než vypínací proud o násobek n uvedený v příloze normy pro střídavý proud a nesmí být menší než jeho jmenovitý provozní vypínací zkratový proud u stejnosměrného napětí.

I_o - Omezovací proud. Hodnota proudu, u které dojde k přerušení obvodu dříve, nežli dojde průběh k vrcholové hodnotě proudu. Vyskytuje se pouze u přístrojů se schopností omezení proudu (hlavně pojistky). Omezením dojde ke snížení dynamických i tepelných účinků.

Dále je výrobce povinen uvést dle ČSN EN 60947-6-2 ed. 2:

- Jméno a obchodní značku
- Výrobní číslo
- Číslo části normy pokud je výrobek v souladu s ní
- U_i - Jmenovité výdržné impulzní napětí
- Uvedení vypnuté a zapnuté polohy
- Stupeň znečištění
- U_c - Jmenovité napětí řídicích obvodů, druh proudu a kmitočet
- IP pro kryt ochrany
- U_s - jmenovité řídicí napájecí napětí, druh proudu a kmitočet
- Jmenovité hodnoty pomocných obvodů
- Nastavení proudu a $I(t)$ charakteristiky nadproudových relé nebo spouští
- Jiné charakteristiky nadproudových relé nebo spouští
- V případě vyměnitelných prvků se uvádí jmenovitý proud a charakteristika dle příslušné normy
- Vhodnost pro bezpečné odpojení
- Prostředí A nebo B (norma IEC 60947-1 část 7.3.1)
- Zvláštní požadavky (stíněné, kroucené vodiče apod.)

Oteplení žádné přístupné části nesmí být nad mez stanovenou normou. Pro ruční ovládání kovové je to 15 K, nekovové 25 K. Kryty a části určené k dotyku ale nedržené mohou mít v kovovém provedení 30 K a nekovovém 40 K. Zbylé části možného doteku v kovovém provedení 40 K a v nekovovém 50 K. Zbylé části nejsou určeny, ale nesmí vlivem teploty dojít k poškození.

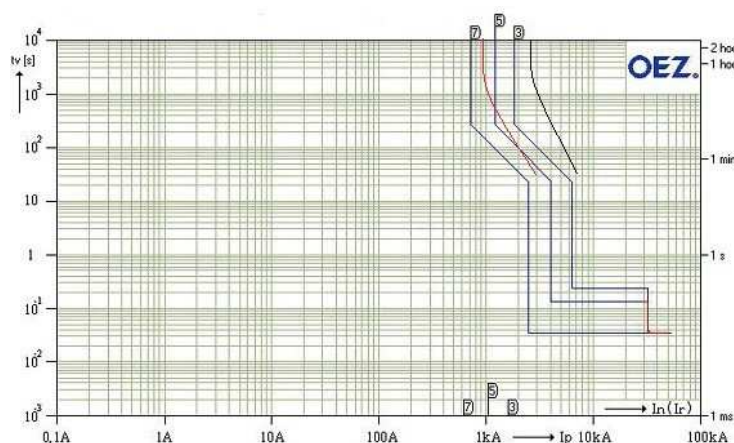
Je třeba také určit správnou kategorii vypínacího prvku vzhledem k zátěži. Od toho se odvíjí zapínací a vypínací schopnost přístroje. Největší problémy působí induktivní a kapacitní spotřebiče, kde sepnutím dochází k proudové špičce (kapacita) a u vypnutí k přepětí (indukce i kapacita).

1.5.2. Selektivita, kaskádování

Na jeden zdroj je zpravidla připojeno více zařízení a požadavkem je jistit jednotlivá zařízení tak, aby při poruše ochrana odpojila pouze vadné zařízení a zachovala dodávku pro zbylá zařízení. Kaskádové prvky řazené za sebou v síti, jako např. na Obr. 4, musí dodržet odstup jednotlivých prvků

pro zkratové i tepelné spouště. To platí jak pro jističe, tak i elektronické ochrany. U domovních jističů se převážně nedá nastavit časový rozestup mezi spouštěmi, ale volí se kaskádově vyšší hodnoty proudu a charakteristiky. U ochrany se dá navolit čas zpoždění reakce nadřazené ochrany, kde se uvažuje záloha ochrany vývodu jako na Obr. 7. V tomto obrázku je vyznačena vývodová ochrana (7), se dvěma nadřazenými ochranami. Posun mezi nimi poskytuje dostatek času na vybavení vývodové ochrany a vypnutí vývodu. Pokud tato ochrana selže, reaguje nadřazená ochrana. Ochrany naběhnou všechny v době vzniku zkratu, do vybavení ale vyčkávají dle stanoveného času. Červená křivka vyjadřuje přetěžovací křivku spotřebiče, černá křivka přetěžovací charakteristiku zdroje. Takto by mohl vypadat ostrovní zdroj. S větším počtem zařízení se rozloží zátěž na menší spotřeby a křivky se od sebe vzdálí. Zdroj je chráněn všemi třemi ochranami a zároveň spotřebič je chráněn tak, aby při poruše nedošla hodnota proudu (oteplení) kritické hranice přetěžovací charakteristiky.

Pokud dojde k situaci, že zkratový proud dosahuje vyšších hodnot než jmenovitý vypínací proud jističe nebo vypínacího prvku, je možno kaskádovitě předřadit prvek snižující zkratové proudy. V sítích NN se standardně předřazuje pojistka, která má vlastní omezovací schopnost zkratového proudu. V sítích VN je na to koncipována celá rozvodna včetně vypínačů nebo je třeba snížit zkratový proud například reaktory, rozložením zdrojů apod. Platí tedy že $I_o \leq I_{cm}$. V případě domácí ostrovní sítě tento problém nevznikne. Tento problém vzniká například u ostrovních sítí na ropných plošinách nebo rozsáhlejších malých napájených oblastí s jedním vlastním zdrojem.



Obr. 7 - Selektivita ochrany (digitální ochrany OEZ)

Pro dodržení selektivity se stanovují vypínací plány ochrany. V tomto plánu jsou odstupňovány zkratové spouště tak, aby podřazená ochrana měla čas zareagovat a vypnout zkrat na úseku jejího vedení. V případě selhání vypne s časovým zpožděním nadřazená ochrana. Zpoždění musí být dostatečné, ale nesmí přesáhnout čas oteplení jištěného zařízení. Selektivita také umožňuje krátkodobé vypnutí nadřazených ochrany s opětovným zapnutím.

Jinou variantou je systém logické selektivity, zajišťuje rychlou lokalizaci místa poruchy bez časového nebo proudového odstupňování. Tato funkce blokování je i u výše zmíněných ochrany. Podřazená ochrana dává tímto signálem informaci nadřazené ochraně o výskytu poruchy a jejím vypínání a blokuje vypnutí nadřazené ochrany. Pro případ selhání na nadřazené ochraně ubíhá časový interval, který při trvání poruchy vybaví tuto ochranu.

1.6. Testování jisticích přístrojů a nadproudových relé

Proces testování ochran, kterým bych se měl dále zabývat, by měl zahrnovat proměření časově závislé nadproudové a časově nezávislé zkratové ochrany pro použití v ostrovních sítích. Nebudu zde řešit zkoušky na dynamické a tepelné účinky proudu, mechanické vlastnosti a podobně. Test ochran se dělí na dvě skupiny, a to typové a kusové testování.

Typové zkoušky jsou prováděny pro navržené ochrany a jsou rozsáhlejší. Zde se zkouší mechanická tepelná odolnost vůči zkratovým proudům, zda je schopno zařízení vyhovět požadavkům pro použití. Dále se testují charakteristiky tepelné a zkratové spouště, které musejí být v limitu stanoveného normou.

- U měření je třeba uvést teplotu prostoru, ve kterém je tepelná spoušť testována.
- Připojení přístroje se provádí vodičem o takovém průřezu, jakému odpovídá jmenovitý proud jisticího přístroje. (u ochran nezávislých na teplotě se průřez může lišit ale splnit podmínky dimenzování)
- Spouště a jističe musí být namontovány tak jako v normálních provozních podmínkách.
- U jističů s nastavitelnou spouští se provádí měření pro minimální hodnotu proudu a časového zpoždění a maximální hodnotu proudu a časového zpoždění.

1.6.1. Vypínání v podmínkách zkratu

Činnost zkratových spouští se provádí pro 80 a 120% nastavení zkratového proudu spouště. Proudů nesmí mít žádnou asymetrii. Pro hodnotu 80% nastaveného zkratového proudu nesmí vybavit po dobu 0,2 s pro časově nezávislou spoušť anebo dvojnásobku času zpožděné nezávislé zkratové ochrany. Pro hodnotu 120% nastaveného zkratového proudu musí spoušť zapůsobit do 0,2 s bez prodlevy nebo do dvojnásobku časové konstanty zpožděné nezávislé zkratové ochrany. U elektronických spouští je třeba prověřit každý pól samostatně. U jističů vícepólových se zkouší vždy dva póly v sérii v každé kombinaci. Pro pól nulového pracovního vodiče se volí sériová kombinace s náhodným pólem. Poté se zkouší jednotlivé póly samostatně.

1.6.2. Vypínání v podmínkách přetížení

Činnost nadproudových časově nezávislých relé se prověřuje pro 90% a 110% jmenovité hodnoty proudu s vypínacím časem do 0,2s. Pro časově závislou spoušť se stanovují hodnoty dle tabulky (Tab. 3) v části 8.2.1.5.1 normy ČSN 60947-6-2 ed. 2:

- Nadproudová závislá relé lze rozdělit na nezávislá na předchozím zatížení a závislá na předchozím zatížení (tepelná spoušť).
- Nadproudová spoušť ve vlastním krytu ze studeného stavu nesmí vybavit při A násobku jmenovité hodnoty proudu za méně než 2 hodiny.
- Při B násobku musí dojít k vypnutí dříve než 2 hodiny.
- Dle třídy přetížení musí relé pro hodnotu nadproudu C vypnout přetížení třídy 10A do 2 minut. Pro třídu 10, 20 nebo 30 jsou vypínací časy 4, 8 a 12 minut.
- Při D (7,2) násobku jmenovitého proudu musí relé vypnout v časovém intervalu uvedeném v Tab. 4.
- Pro nastavitelná nadproudová relé musí splňovat podmínky vypnutí ve stanoveném čase jak pro minimální, tak i maximální nastavenou hodnotu násobku proudu.

Pro jističe je nadproudová spoušť zkoušena pro 1,05, kdy nesmí vypnout za méně než 2 hodiny a 1,3 násobek proudu, kdy musí vypnout za méně než 2 hodiny. Níže jsou uvedeny další podmínky pro zkoušení:

- U elektronických spouští jističe se provádí testování při teplotě prostoru, přičemž je napájena ve všech fázových pólech. U tepelných spouští se provádí při referenční teplotě.
- Pro nezávislé časové spouště jističe se provádí doplňkové měření časového zpoždění pro 1,5 násobek jmenovitého proudu, v případě více pólového jističe se zapojenými všemi póly. Pro elektronickou spoušť na jednom náhodně zvoleném pólu.
- Doplňkové měření nevypínací doby se provádí při 1,5 násobku jmenovitého proudu po dobu nevypínací uvedenou výrobcem, a poté je proud snížen na jmenovitou hodnotu a nesmí vypnout ve dvojnásobném časovém zpoždění udaném výrobcem. Provádí se jak pro zkratovou, tak i nadproudovou část.
- Pro kontrolu a kalibraci charakteristik závislých časových spouští se musí provádět násobkem nastavené hodnoty a srovnává se s udanou křivkou od výrobce. Lze je provádět při jakékoliv teplotě s korekcí proudu dle teploty. Zkoušel lze jednotlivé póly nebo sériové kombinace pólů při použití všech možných kombinací.

Tab. 3 - Předepsané násobky proudu pro testování časově závislých ochran dle typu zatížení (ČSN 60947-6-2 ed. 3)[7].

Kategorie užití	Typ relé nebo spouště	Násobky nastavení proudu				Referenční teplota okolí
		A	B	C	D	
AC-42 AC-43 AC-44	a) Nezávislé nebo závislé na předchozí zátěži a nekompensované se zřetelem na změny teploty okolního vzduchu b) Závislé na předchozí zátěži a kompensované se zřetelem na teplotu okolního vzduchu	1,0	1,2	1,5	7,2	+40 °C
DC-43 DC-45		1,05	1,2	1,5	7,2	+20 °C
AC-40 AC-41 AC-45a AC-45b DC-40 DC-41 DC-46	Nezávislé nebo závislé na předchozí zátěži	1,05	1,3	-	-	+30 °C

Tab. 4 - Doby vypnutí pro kategorie užití AC-42, AC-43, AC-44, DC-43, DC-45[7]

Třída vypnutí	Doba spouště T_p v sekundách v podmínkách specifikovaných v bodě b) 8.2.1.5.1
10A	$2 < T_p \leq 10$
10	$4 < T_p \leq 10$
20	$6 < T_p \leq 20$
30	$9 < T_p \leq 30$

1.6.3. Požadavky na testování elektronických ochran

Tyto zkoušky jsou prioritně předurčeny pro typové testování ochran. Testy mají prověřit funkčnost hardwaru i softwaru nadproudových relé. Měřená veličina má být přivedena v plné výši na měřicí (jistíci) transformátor proudu nebo v odpovídající hodnotě převodního poměru na vstup ochrany. Pro určení přesnosti má být využit sinusový průběh o proměnné amplitudě dle měření.

Pro určení chyb měření v ustáleném stavu norma požaduje monitorovat rozběhový vstup a pomalu zvyšovat amplitudu proudu dokud nedojde k rozběhu. Zvyšování amplitudy probíhá podle podmínek:

- Počáteční měřená hodnota bude nižší o dvojnásobek hodnoty možné odchylky (přesnosti) ochrany od nastaveného proudu. Čili při přesnosti 10% je $I_n = I_n \cdot (1 - 2 \frac{10}{100})$
- Krok skoku hodnoty musí být menší než desetina odchylky od nastaveného proudu. Jinak také $I_{krok} = \frac{1}{10} \cdot I_n \cdot \frac{10}{100}$
- Doba trvání kroku musí být dvakrát delší než doba rozběhu ochrany. Nesmí být delší než pětinašobek doby rozběhu.

Doporučené hodnoty nastaveného proudových bodů pro měření je minimum nebo 0% rozsahu; 0,5%; 1 %; 2%; 3%; 5%; 10%; 30%; 60% a maximum nebo 100% rozsahu. Pro každý zkušební bod musí být 5 měření pro opakovatelnost výsledku s minimální odchylkou a minimálně 10 bodů.

Určení poměru nulování (přidržený poměr) je poměr hodnot proudu, kdy dojde k vynulování ochrany a hodnoty proudu vybavení ochrany bez časového zpoždění. Tato hodnota odpovídá hysterezi mezi proudy ochrany. Hodnota vždy vychází menší než 1. Podmínky pro měření jsou podobné jako pro chybu měření v ustáleném stavu:

- Počáteční měřená hodnota bude vyšší o dvojnásobek hodnoty možné odchylky (přesnosti) ochrany od nastaveného proudu. Čili při přesnosti 10% je $I_n = I_n \cdot (1 + 2 \frac{10}{100})$
- Krok skoku hodnoty musí být menší než desetina odchylky od nastaveného proudu. Jinak také $I_{krok} = \frac{1}{10} \cdot I_n \cdot \frac{10}{100}$
- Doba trvání kroku musí být dvakrát delší než doba rozběhu ochrany. Nesmí být delší než pětinašobek doby rozběhu.

Poměr nulování (%) se vypočítá jako:

$$\text{nulovací poměr (\%)} = \frac{I_{Reset}}{I_{Start}} \cdot 100 \quad 1.1$$

Kde: I_{Reset} hodnota proudu vynulování

I_{Start} hodnota proudu vybavení

Volené hodnoty bodů měření jsou stejné jako výše pro chybu měření. Pro každý zkušební bod musí být 5 měření pro opakovatelnost výsledku s minimální odchylkou a minimálně 10 bodů.

Dalším bodem je určení chyby časování vztahující se k době rozběhu a sepnutí. Proud musí být přiveden bez záměrného zpoždění, bez DC složky a měřen rozběhový i spínací výstup z ochrany. Spínací bod mezi počáteční zkušební hodnotou a zkušební hodnotou musí být spínán při průchodu proudu nulou. Zkoušky se provedou na všech fázích. Pro nastavenou hodnotu proudu a časově závislou charakteristiku je třeba zvolit body v celém časovém rozsahu. Body jsou měřeny alespoň

pětkrát. Zaznamenané časy z rozběhového výstupu vyjadřují reakci ochrany na nadproud, zatímco spínací výstup dobu rozběhu i časového zpoždění. Doporučené hodnoty jsou v tabulce (Tab. 5)

Tab. 5 - Doporučené hodnoty pro měření nadproudových časových chyb rozběhu.[6]

Doba sepnutí nebo nastavení TMS	Nastavení spínacího proudu	Počáteční hodnota zkušební proud	Konečná zkušební hodnota proudu
Minimum (0 %)	Minimum (0 %)	0	$1,2 \times G_S$
50 %	50 %	0	$2 \times G_S$
Maximum (100 %)	Maximum (100 %)	0	$5 \times G_S$
–	–	0	$10 \times G_S$
–	–	0	$20 \times G_S$

Další měření vyhodnocuje chybu měření časování vztahující se k době nulování. Na relé je přiveden proud, který způsobí zapnutí ($2I_N$). Pak je krokován na počáteční hodnotu zkušební proud po dobu 1 sekundy. Poté je krokován na konečnou hodnotu bez záměrného zpoždění. Monitoruje se vhodný kontakt prvku. Pokud má ochrana pouze jeden spínací kontakt je v normě uveden postup pro takovéto měření. S časově závislou charakteristikou měříme čas sepnutí i čas rozběhu na jiném vhodném kontaktu. Volené body pro charakteristiku měříme pětkrát.

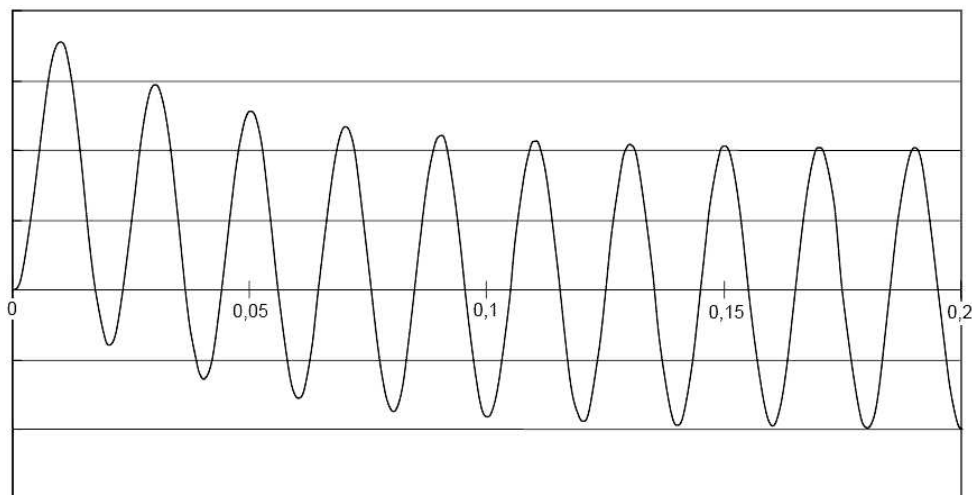
Tab. 6 - Doporučené hodnoty pro měření nadproudových časových chyb nulování.[6]

Doba sepnutí nebo nastavení TMS	Nastavení spínacího proudu	Počáteční hodnota zkušební proud	Konečná zkušební hodnota proudu
Minimum (0 %)	Minimum (0 %)	$2 \times G_S$	$0,8 \times G_S$
50 %	50 %	$2 \times G_S$	$0,4 \times G_S$
Maximum (100 %)	Maximum (100 %)	$2 \times G_S$	$0,2 \times G_S$
–	–	$2 \times G_S$	$0,1 \times G_S$
–	–	$2 \times G_S$	0

Tyto hodnoty se později srovnávají s teoretickými časy a určuje se chyba, a zda chyba splňuje uvedené parametry výrobce.

Zkouška přechodového přesahu spočívá v kontrole vlivu posunutí proudů na rozběhové hodnoty prvku. Přivede se na ochranu s nastavenou referenční hodnotou proud o amplitudě $0,9 I_N$. Poté se zvyšuje, až dojde k rozběhu ochrany. Amplituda ochrany se sníží o 2%, znovu přivede na ochranu a ochrana nesmí reagovat, když je proud krokován od nuly do zkušební amplitudy. Se stanovenou amplitudou zkušební proud se provede zkouška s maximální hodnotou DC proudů při přechodovém jevu (Obr. 8). Volí se poměr X/R kde poměr bude maximálně 120. Norma uvádí jako vhodné poměry 10; 40 a 120. Kmitočet sítě je standardně 50Hz. Při testování je proud krokován z 0 na zkušební amplitudu bez záměrného zpoždění. Funkce relé je monitorována po dobu nejméně časové konstanty. Pokud dojde k sepnutí, prvek se nastaví na vyšší hodnotu a zkouška se opakuje. Za úspěšnou lze považovat zkoušku po pěti měřeních, kdy ochrana nespustí a bod stability je dosažen. Přechodový přesah pro všechny poměry X/R:

$$\text{Přechodový přesah (\%)} = \left(\frac{\text{Nastavení, při kterém se nevyskytne nesepnutí při posunutém průběhu}}{\text{Nastavení, při kterém se nevyskytne sepnutí pro průběh bez posunu}} - 1 \right) \times 100$$



Obr. 8 - Typický průběh proudu pro zkoušku proudového přesahu (podoba zkratového proudu v síti)[6]

Doba překmitu se měří systémem zkracování doby. Nejprve je přiveden pětinašobek jmenovité hodnoty proudu. Měří se čas sepnutí. Maximální hodnota z pěti měření sepnutí relé se dále použije. Přivede se stejný proud ($5 I_n$) na ochranu po dobu o 5 ms kratší než tento naměřený čas. Pokud ochrana spustí, čas přivedení proudu se zkrátí o 5 ms. Pokračuje se, dokud pět po sobě jdoucích měření ochrana nevybaví. Časový rozdíl mezi přivedením proudu a sepnutím ochrany je doba překmitu. Pro časově nezávislé spouště se volí $5 I_n$ a prvotní čas 200 ms. Nevyžaduje se pro okamžité spouště.

Odezva na časově proměnnou charakteristiku veličiny pro časově závislá relé vyžaduje modulovaný měřený proud. Modulace je pravoúhlým signálem s frekvencí menší než 1/10 nosné vlny (50Hz sinus). Přechodový režim relé nesmí mít vliv na sepnutí. Amplitudy G_1 a G_2 jsou vyšší než nastavená hodnota ochrany. Doba působení ochrany je daleko větší než perioda modulačního signálu. Tím je možno určit teoretickou dobu sepnutí jako:

$$T_0 = \frac{2 \cdot T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2} \quad 1.2$$

kde: T_1 čas periody G_1
 T_2 čas periody G_2

Doporučené hodnoty pro časově proměnné veličiny jsou v tabulce (Tab. 7) níže. Tyto naměřené časy by se neměly lišit o více než 15% s teoretickou hodnotou času.

Tab. 7 - Doporučené hodnoty pro zkoušku odezvy dle křivky[6]

Křivka	TMS	G_1	G_2	T_1	T_2	T_0
A	1	$2 \times G_S$	$5 \times G_S$	10,03	4,28	6,00
B	1	$2 \times G_S$	$5 \times G_S$	13,50	3,38	5,40
C	1	$2 \times G_S$	$5 \times G_S$	26,67	3,33	5,93
D	1	$2 \times G_S$	$5 \times G_S$	3,80	1,69	2,34
E	1	$2 \times G_S$	$5 \times G_S$	7,03	1,31	2,21
F	1	$2 \times G_S$	$5 \times G_S$	9,52	1,30	2,28

2. Popis inteligentních ochran

2.1. Ochrana Arion jističů

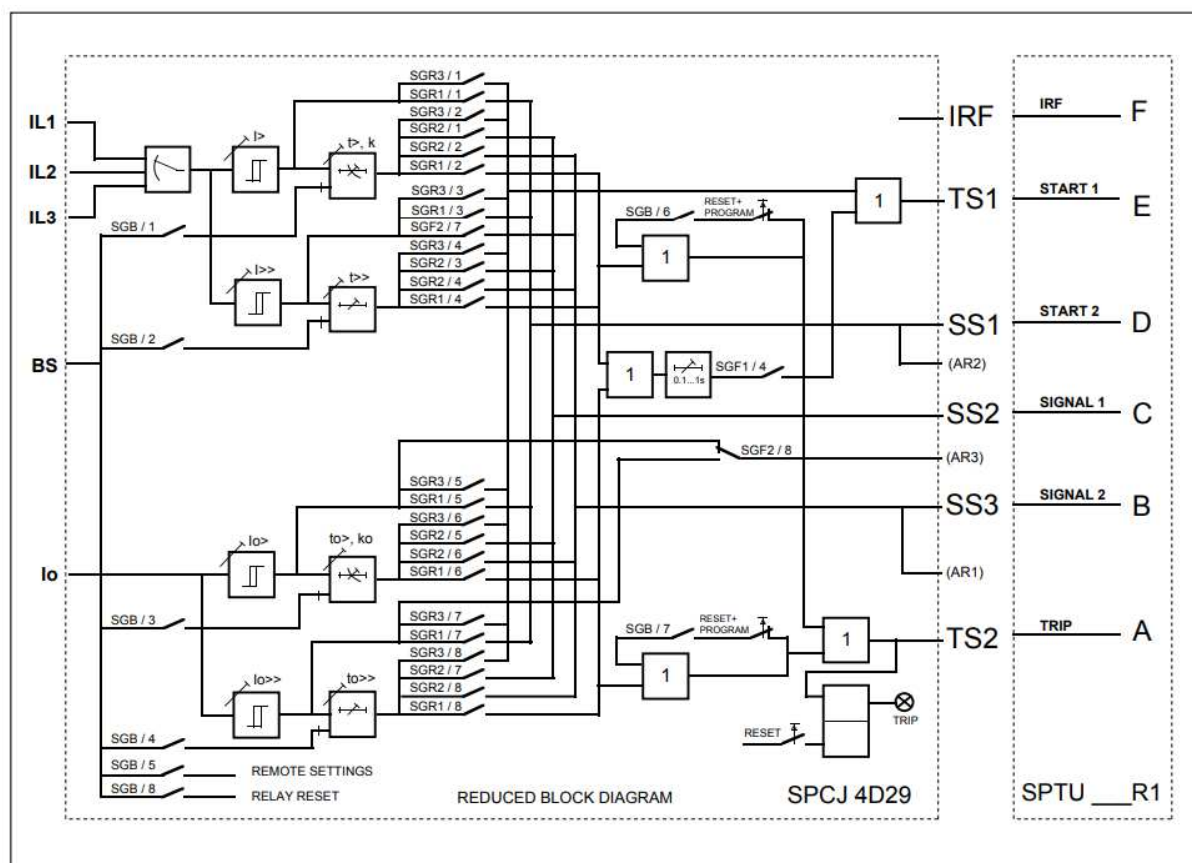
Digitální ochrany využívající se v malých ostrovních sítích nabízené k přímému využití se mi nepodařilo nalézt. Vyrábějí se motorové ochrany na elektronické bázi, ale od těchto ochranných nelze čekat rychlou reakci na zkrat, což je pro ostrovní síť stěžejní. Další nalezené ochrany již výše zmíněné jsou součástí spínačů Arion firmy OEZ. Vzhledem k integrovanosti do výkonového jističe nad 60A je nepoužitelný pro domovní rozvody v rámci jednotlivých větví. Navíc neposkytuje datovou komunikaci s možností měření proudu pro další vyhodnocení přetěžování systému.

2.2. Ochrana typu SPAJ



Obr. 9 - Ochrana SPAJ 140 C [23]

První využitelným zařízením je ochrana typu SPAJ 140C od firmy ABB. Jedná se o starší typ třífázové a nesměrové zemní nadproudové ochrany primárně určené k chránění VN zařízení. Vyzbrojení vhodným transformátorem proudu je možné použití v ostrovním systému. Charakteristiky jsou nastavitelné pomocí násobků proudu a časové konstanty nebo definovaného časového zpoždění. Ochrana nabízí dva nadproudové stupně a možnost externího blokování každého nadproudového bloku pro zvýšení selektivity ochrany, a to jak pro fázové proudy, tak i pro zemní proud. Signálové schéma této ochrany je na Obr. 10.



Obr. 10 - Signálové schéma ochrany SPAJ 140 C [23]

Jak je vidět na schématu, ochrana obsahuje tři fázové proudové vstupy (I_{L1} , I_{L2} , I_{L3}), jeden zemní proudový vstup (I_0) a blokovací signál (BS). Fázové proudy jsou multiplexovány na vstup komparátoru proudu. Následuje blok časovačů s volitelným zpožděním. Dále se pomocí přepínačů volí reakce výstupu na nadlimitní hodnoty proudu z daného komparačního článku. Lze tedy nadefinovat signalizaci nadlimitního stavu, vypnutí výkonového prvku nebo podřazeného prvku pomocí signálu TRIP ve funkci zálohy podřazené ochrany. Tato ochrana je digitální, takže od multiplexoru až po výstupy digitální signály zpracovávají v mikroprocesoru. Na předním panelu se nachází i informační numerický displej pro obsluhu.

Proudové vstupy ochrany vyžadují měřicí transformátor proudu. Máme zde na výběr z 1A nebo 5A vstupu. Ochrana obsahuje oba rozsahy, které se mění volbou svorek. Ochranu lze použít v jednofázových i dvoufázových aplikacích, kdy u jednofázové lze proud vést přes dva měřicí vstupy a tím zrychlit reakci na jednofázový zkrat. Fázové proudové vstupy jsou stavěny na dlouhodobé i krátkodobé přetížení působící v době zkratu i nadproudu. Pro trvalé přetížení vstupních svorek je tato hodnota čtyřnásobkem jmenovité hodnoty proudu. Při zkratovém přetížení kratším než jedna sekunda je přetížitelnost stonásobkem jmenovité hodnoty viz níže.

Měřicí vstupy:

• Jmenovitý proud	1 A	5 A
• Trvalá přetížitelnost	4 A	20 A
• Krátkodobá přetížitelnost (1 s)	100 A	500 A
• Dynamická proudová přetížitelnost	250A	1250A

Nastavitelné hodnoty proudu jsou uvedeny níže:

Nadproudový stupeň s nižším rozsahem $I >$

- | | |
|---|-------------------------|
| • Popudový proud nezávislé časové charakteristiky | 0,5 až $5,0 \times I_N$ |
| • Popudový proud nezávislé časové charakteristiky | 0,5 až $2,5 \times I_N$ |

Proudově nezávislá charakteristika:

- | | |
|---|---------------|
| • Čas působení nezávislé časové charakteristiky | 0,05 až 300 s |
|---|---------------|

Proudově závislá charakteristika:

- | | |
|---|------------------------|
| • Závislé časové charakteristiky | Dle IEC 255-4 a BS 142 |
| • Speciální typ závislé charakteristiky | Závislá RI nebo RXIDG |
| • Násobící faktor času "k" | 0,05 až 1,0 |

Nadproudový stupeň s vyšším rozsahem $I >>$

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| • Popudový proud | 0,5 až $40,0 \times I_N$ |
| • Čas působení/vypnutí | 0,04 až 300 s |

Dále má ochrana programovatelný binární vstup. Pomocný binární vstup ochrany lze využít dle volené aplikace pro tyto signály:

- Jako reset vypínacího relé ochrany s přídržnou funkcí
- Jako vstup externího blokovacího signálu
- Jako ovládání dálkového přepínání nastavení ochrany

Ochrana je vybavena sériovou komunikací pro ovládání, vyčítání a nastavování ochrany se sběrníkovou komunikací SPA-ZC po optickém vlákně. Pomocí této komunikace lze vyhodnocovat odběry proudu v jednotlivých vývodech a zpracovávat je jedním nadřazeným počítačem, což je výhodou pro vytvoření selektivity v mém případě, jak jsem již výše zmiňoval. Další výhodou tohoto systému komunikace je bezprostředně odolnost vůči rušení, zvláště v prostoru rozvodu. Optické vlákno nelze nikterak rušit. Nevýhodou je systém "Ring", kdy u výpadku jedné ochrany vypadává komunikace všech v kruhu. Zapojení typu "Star" tuto neřest nemá, ale zvyšuje se množství převodníků a optických vláken. Proto se tyto ochrany uskupují do jednotlivých celků jako část rozvodny nebo jeden podružný vývodový rozvaděč.

Napájení této ochrany se liší dle použitého typu zdroje. Volitelné jsou dva s rozsahem 18 až 80 V_{DC} nebo 80 až 265 V_{AC/DC}. Vzhledem k nutnosti napájet ochranu z cizího zálohovaného zdroje je v malém měřítku z mého pohledu lepší využít 24V_{SS}, které lze zálohovat dvěma olověnými akumulátory a zdrojem s funkcí UPS. Pro velké rozvodny s množstvím pohonů s dálkovým ovládáním je daleko výhodnější využití 230V_{SS} ze staniční baterie.

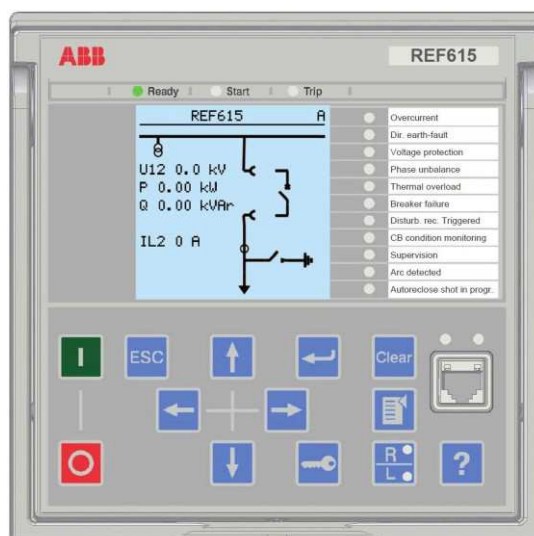
Shrnutím parametrů této ochrany jsem dospěl k názoru, že je možné použití pro tento druh chráněných sítí, ačkoliv doba vypnutí je 0,04s při zkratu. Když k tomu připočteme čas odpadu stykače a uhasnutí oblouku a vidíme, jak se tato doba vypnutí dosti natahuje. Zrychlení je teoreticky možné zapojením vypínání na signalizační vstup náběhu zkratové ochrany. Je však pravděpodobné, že ochrana naběhne při zapnutí spotřebiče a chybně vybaví. Velkou výhodou ovšem je možnost jemného nastavení proudových charakteristik dle požadavku aplikace a časovým odstupňováním jednotlivých

nadřazených ochran. Cena této ochrany, kterou jsem objevil na internetu, se pohybovala okolo 500 dolarů, což prodraží instalaci velmi znatelně. Navíc ochrana svými rozměry vyžaduje velký prostor pro montáž. Všechny tyto věci ji dělají nevhodnou pro použití v malých ostrovních elektrárnách na bázi rodinného domku nebo menší firmy.

2.3. Ochrana typu REF

Novějším typem ochrany je náhrada starších ochran z řady SPAJ firmy ABB. Mnou zvolená ochrana je typ REF615. Tato ochrana spadá do zařízení IED (Intelligent Electronic Device). Hlavním zaměřením této ochrany je chránění, ovládání a měření vývodů v rozvodnách. Ochrany využívají plně datovou komunikaci k dálkovému ovládání celého vývodového pole včetně odpínačů, výkonového vypínače nebo zemnicích nožů. U předešlého typu SPAJ byly nutné další PLC automaty (RTU) pro ovládání systémem jako například SCADA a ochrana působila pouze jako nadproudové relé. Primární využití této ochrany je po vývodu vedení nebo kabelové distribuční sítě. Další možností je použití pro záložní chránění v kombinaci například s distanční ochranou.

Ochrana má i vylepšený LHMI (Local Human Machine Interface), kdy obsluha vidí na ochraně, v jakém stavu se nachází jednotlivé přístroje ve vývodu (Obr. 11). Dále je možno vidět odběry v jednotlivých fázích, napětí fází, výkony, poruchy a provádět úpravy nastavení. Dále je na předním panelu vyveden LAN port pro připojení PC pro pohodlné nastavování pomocí WHMI (WEB Human Machine Interface). Pro zabránění neoprávněným zásahům do nastavení je samozřejmě nutno mít přihlašovací údaje k danému uživateli, který má softwarově definováno co smí a co nesmí změnit.



Obr. 11 - Ochrana REF615 [21]

Ochrana dále poskytuje poruchový zapisovač pro diagnostiku poruchy, ochranné a měřicí funkce na bázi frekvence, kontroly synchronního stavu, monitorování kvality energie.

Dále lze připojit jednotky pro rozšíření počtu vstupů a výstupů (RIO600) nebo optický vodič jako zábleskový senzor (ARC). Celá ochrana se dá vyměnit během minuty bez odpojování vodičů díky dvoudílnému systému vnější skříně s kontakty a zásuvné jednotky.

Komunikace může probíhat na bázi Ethernetu po optickém vláknu nebo kabelově, dále pomocí sériové linky RS232/RS485. Zvláštním protokolem IEC 61850-8-1 těchto ochran je komunikace pomocí GOOSE zpráv, což zajišťuje přijímání stavů výstupů a vstupů z jiných ochran

včetně naměřených hodnot jakožto i jejich vysílání pro ostatní ochrany v systémovém celku. Tato komunikace dosahuje vysoké rychlosti a nahrazuje TRIP binární signály. Jeden ze zdrojů uvádí, že doba signálu trip je větší než 37 ms, zatímco trip příkaz přes protokol GOOSE je časově kratší než 23 ms.

Ochrany se vyrábějí v různých konfiguracích. Pro ostrovní systém bych využili například typ C. Tato konfigurace obsahuje nesměrové nadproudové chránění, nesměrové zemní chránění a ovládání vypínače. Díky nezajišťování vývodů v sítích NN zemnicemi noži nebo vytažením vypínače z polohy připraveno není potřeba další binární vstupy, s jedním zdrojem proudu odpadá i směrové zemní chránění. Pro pozdější měření bude použita tato ochrana typu E. Zde je navíc měření fázového napětí, monitorování provozních podmínek vypínače a ovládání vypínače. Nachází se zde i měření směru proudu, které se využívá při napájení ze dvou stran jako ochrana proti zpětnému proudu.

Parametry proudových vstupů odpovídají předchozí ochraně. Pro ochrany existuje i vstupní modul proudových senzorů (I/U), kde se vstupní napětí pohybuje od 75 do 9000mV. Pro nízké proudy mohou být tyto senzory dostupnější nežli měřicí transformátory. Napěťové vstupy jsou limitovány napětím 210 V AC. Maximální trvalé přepětí je 240 V a krátkodobé 10 sekundové přepětí až 360V. Pro měření v ostrovní síti je tedy nutný převodní transformátor napětí.

Nastavitelné hodnoty proudu jsou uvedeny níže:

Nadproudový stupeň

- Popudový proud stupně s nižším nastavením 0,05 až $5 \times I_N$ s krokem 0,01
- Popudový proud stupně s vyšším nastavením 0,10 až $40 \times I_N$ s krokem 0,01
- Popudový proud mžikového stupně 1 až $40 \times I_N$ s krokem 0,01

Proudově nezávislá charakteristika:

- Čas působení zpoždění nižšího a vyššího stupně 40 až 200000 ms v krocích po 10 ms
- Čas působení zpoždění mžikového stupně 20 až 200000 ms v krocích po 10 ms

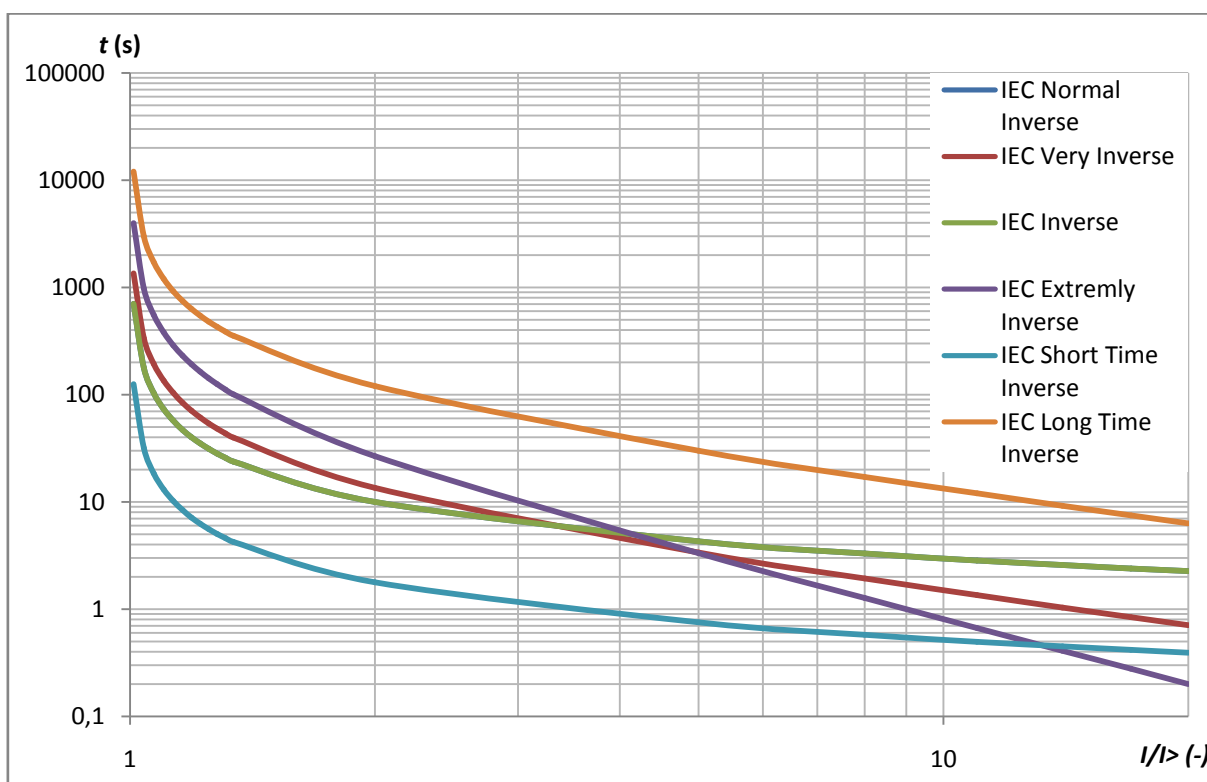
Dokument k ochraně dále uvádí, že mžikový stupeň je schopen reagovat během 19 ms a nadproudové stupně během 29 ms, což je pro náš účel žádané. Dále lze nastavit pro nižší a vyšší stupeň jednu z volitelných vypínacích charakteristik dle norem. K výběru jsou různé sklony křivek dle norem IEC, ANSI a další volitelné křivky včetně vlastní programovatelné. Pro ukázkou se konstanty křivek nacházejí v Tab. 1. Díky výpočtu pomocí rovnice 2.1 můžeme určit průběh křivky, nebo si nadefinovat vlastní křivku. Pro názornost jsou vymodelovány čtyři křivky z hodnot tabulky (viz Obr. 12). Dále lze nastavit čas nulování časovače ochrany, což je důležité pro krátkodobé opakované přetížení viz dále.

Tab. 8 - Konstanty vypínací charakteristiky dle IEC 60255 (ČSN EN 60255-1)

	A	B	C
IEC Normal Inverse	0,14	0	0,02
IEC Very Inverse	13,5	0	1
IEC Inverse	0,14	0	0,02
IEC Extremely Inverse	80 (50 v ČSN)	0	2
IEC Short Time Inverse	0,05	0	0,04
IEC Long Time Inverse	120	0	1

$$t = \left(\frac{A}{\left(\frac{I}{I>} \right)^C - 1} + B \right) \cdot k \quad 2.1$$

Kde:	t	čas (s),
	A, B, C	konstanty dle tabulky (-)
	I	hodnota měřeného proudu (A)
	$I>$	nastavená počáteční hodnota proudu (A)
	k	časový násobitel (-)



Obr. 12 - Časově závislé charakteristiky dle IEC 60255-1

Digitální vstupy obsahují optočleny s napětovým rozsahem 24 až 240V DC. Optočleny jsou použity z důvodu razantně kratšího zpoždění oproti kontaktním spínačům. Výstupy jsou provedeny pomocí relé s trvalým zatížením 5A pro stejnosměrný i střídavý proud.

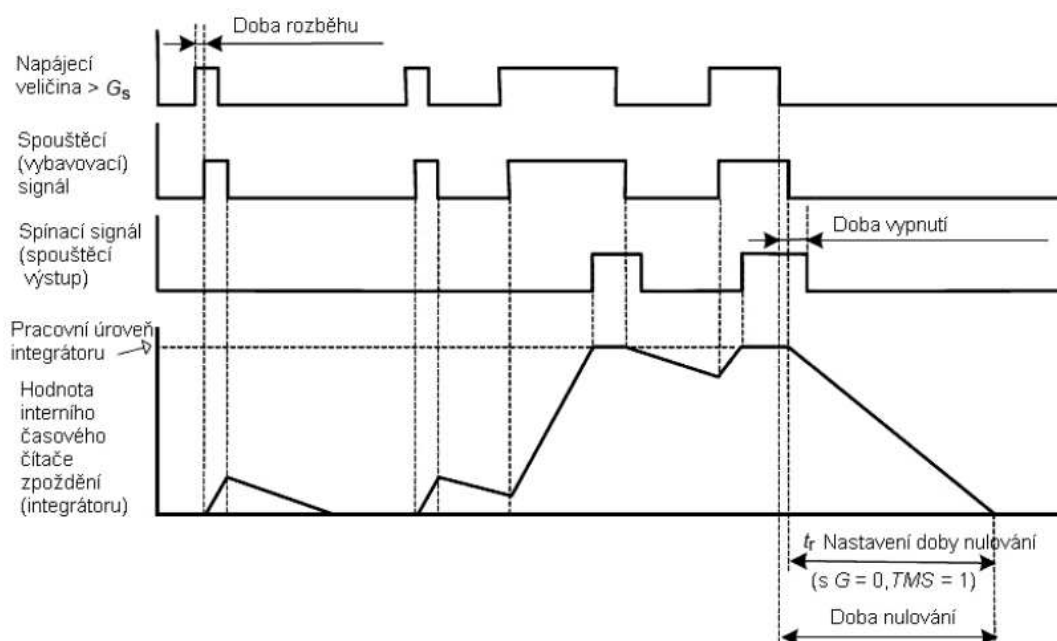
Tato ochrana je přizpůsobitelná pro požadavky ostrovní sítě. Ve spolupráci s výrobcem, který může upravit software na míru a doplněním o měření stavu baterií lze zvládat automatiku odhazování zátěží (Load Shedding) díky rychlým sdílením dat (GOOSE zprávám). Vzhledem k LHMI poskytují ochrany okamžitý přehled o poruchách nebo přetížení. Bohužel z hlediska ceny jedné jednotky je tato varianta pro domácnosti nepoužitelná. Použitelná je v průmyslových aplikacích, kde cena za výpadek záložního napájení mnohonásobně překračuje cenu použitých ochran.

2.4. Prototypová ochrana PMS-01

Jedná se o zatím vývojovou ochranu navrženou přímo pro použití v malých ostrovních fotovoltaických celcích. Nejen že svou velikostí je možné ji namontovat na klasickou DIN lištu, ale modulově zabírá velikost přibližně 4 kompaktních jističů, což je markantní rozdíl oproti předešlým typům. Doplněním o stykač nebo SSR relé dostáváme jistící celek. Vhodné bude předřadit před silový obvod pojistkový odpojovač nebo jistič jakožto havarijní a bezpečnostní vypnutí bez možnosti automatického zapnutí, ačkoliv ochrana musí mít blokovací režim znemožňující zapnutí. Dalším velkým přínosem je implementace měřicího/jistícího LEM senzoru v ochraně, čímž není potřeba další místo v rozvaděči a použitím průvlekového typu eliminujeme další dva spoje s možným přechodovým odporem. Krajní nevýhodou této ochrany je jednofázové měření. V budoucnu by nebylo na škodu vytvořit novou třífázovou verzi pro existující třífázové měniče.

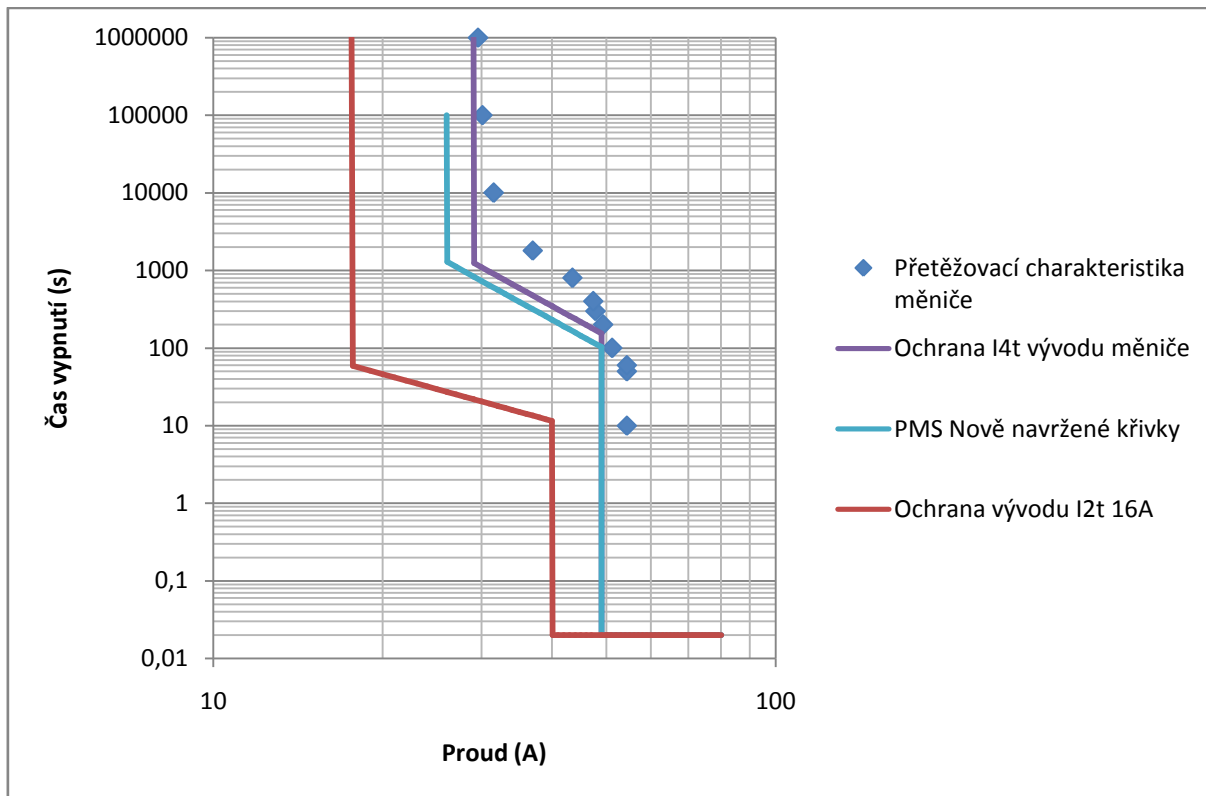
Ochrana nemá sice tak vyvinutý LHMI jako předchozí typ a veškeré nastavování se provádí po komunikační sběrnici. Pro běžného uživatele je ale důležité, aby byl schopen při výpadku znovu ochranu zapnout. Zároveň ale v žádném případě nemohl přenastavit vnitřní hodnoty, k čemuž by ochrana s rozšířeným LHMI mohla vybízet. Ochrana má ovládací prvek pro zapnutí a vypnutí, přepnutí modu Local/Remote a nastavování hodnot předdefinovaných hodnot jistění. Signalizace je provedena pomocí LED diod na čelním panelu.

Samotná ochrana se blíže podobá elektronickému jističi s nastavitelnou charakteristikou. Při překročení nastavené hodnoty proudu nad $1,1xI_r$ se v ochraně spustí vnitřní integrační člen, kdy se počítá $I^2t = konst$. Integrace probíhá v MCU, kde dojde-li k překročení hodnoty integrálu nad konstantu, ochrana vybaví. Nastavením koeficientu t a konstanty můžeme upravovat křivku. Při poklesu proudu a nulování ochrany je zde nastavena časová závislost, která odpovídá poklesu proudu a času. To simuluje ochlazování tepelné spouště nebo lépe pro účely DC/AC měniče jeho tepelný model. Je třeba si uvědomit akumulaci tepla při přetížení ve zdroji, a tak není vhodné nulovat ochranu v krátkém čase při přerušovaném přetěžování. Průběh takového nulování je na Obr. 13.



Obr. 13 - Nulování ochrany [7]

Zkratová spoušť vybavuje při překročení nastaveného násobku $2,5xI_r$ pro vývodové ochrany a $1,9xI_r$ pro hlavní ochranu měniče. Je to z důvodu zkratového proudu, který dosahuje maximálně trojnásobek jmenovité hodnoty. Na obrázku níže je možné vidět vývodovou charakteristiku a charakteristiku ochrany vývodu měniče kopírující charakteristiku tohoto zdroje (modré tečky).



Obr. 14 - Vypínací křivky, zatěžovací charakteristika [25]

Ochrana dále obsahuje napěťový jeden měřicí napěťový vstup s možnou funkcí podpěťového hlídání nebo výpočtu úhlu posunutí napětí k proudu pro tzv. směrovou ochranu. Ta se využívá především v systémech se dvěma zdroji, jak jsem již zmínil výše.

Systém logické selektivity zajišťuje rychlou lokalizaci místa poruchy s nízkým časovým zpožděním, jak již bylo zmíněno výše. Pokud podřazená ochrana selže, nadřazená reaguje po uplynutí intervalu, který je zvolen zde 150 ms. Tento interval se může násobit dle hierarchie ochran. Časovač po příchodu signálu blokování pracuje dál a při výskytu dalšího nadproudu v rozmezí do 0,4s dojde k vybavení ochrany.

Spojením pomocí sériové komunikace RS485 s nadřazeným systémem hlídání zatížení, který je schopen detekovat přetížení, stav a teplotu baterií, je systém řízení schopen vypínání zátěže podle priorit (Load Shedding). Dále je schopen uživatel pomocí dohledového zařízení (PC, Smartfone, Terminál) nebo nadřazený systém hlídání vypnout nebo zapnout daný vývod. Ochrana má rychlý binární vstup pro nouzové vypnutí (Hardwired) s nejvyšší prioritou pro CENTRAL STOP nebo TOTAL STOP tlačítko tak, aby mohla být použita v budovách vyžadujících toto havarijní odpojení.

Navíc tyto ochrany obsahují i analogový výstup pro ovládání zařízení s velkým rozběhovým proudem (AS motor, velké zátěže) pomocí frekvenčního měniče, softstarteru nebo triákové regulace, případně ke ztlumení osvětlení v době nedostatku energie. Analogové vstupy zase poskytují připojení teplotních čidel pro monitoring teploty baterií, měniče nebo rozvaděče.

3. Návrh měřicího stanoviště pro kalibraci a ověřování jistících prvků.

3.1. Specifikace měřicího stanoviště

Měřicí stanoviště má splňovat požadavky pro zjišťování vypínacích charakteristik jak kompaktních jistících prvků, tak i digitálních ochran. Z tohoto důvodu je potřeba vytvořit obvod s proudem alespoň do 5 násobku hodnoty jističe, ale i PMS ochrany s vnitřním LEM senzorem. Pro ostatní ochrany zde bude měřicí transformátor proudu s normovaným výstupem 5A. Vzhledem k reakci zkratových prvků musí stanoviště měřit jak velmi krátké časové úseky v délce 20 ms tak i dlouhé doby udané normou pro testování tedy 2 hodiny.

Měřicí stanoviště má být také připraveno pro budoucí samočinné měření ochran a poloautomatické měření jističů. Nynější projekt má umožňovat ruční regulaci proudu se záznamem hodnot do PC včetně grafického znázornění křivek.

Mechanické provedení stanoviště bude provedeno na panel z perforovaného montážního plechu a to tak, aby na stanovišti šlo převážnou část věcí přemístit podle potřeby. Montáž je tedy upravena na rozteč děr v perforovaném plechu nebo na montážní DIN lištu. Vodiče trvalého zapojení budou vedeny v plastových lištách.

Elektrické zapojení bude provedeno dle platných norem ČSN s ohledem na značení, přehlednost, nezaměnitelnost a především bezpečnost celého měřicího stanoviště. Je třeba dbát na obsluhu, kterou mohou tvořit studenti a možný úraz elektrickým proudem. Dále dodržovat dimenzování vodičů a jistících prvků. Celé zařízení bude mít hlavní vypínač s napájením pohyblivým příívodem.

3.2. Prvotní testování

Celé měření je založeno na simulaci nadproudu až do hodnot reakce zkratové spouště pro běžně využívané kompaktní jističe. Vzhledem k charakteristice jističů je tedy třeba uvažovat alespoň o sedminásobku jmenovité hodnoty jističe pro pokrytí charakteristik B a C v rámci hodnoty jmenovité hodnoty 25A.

Dále použitím měřicího transformátoru proudu dosáhnout nadproudu až do hodnoty zkratového proudu ochran dle jejich nastavení. Stanoviště umožní použití i jiného měřicího/jistícího transformátoru proudu, za předpokladu, že maximální proud z transformátoru je dostatečný pro vybavení. Přetěžováním transformátoru může dojít k jeho tepelné destrukci.

3.2.1. Transformátor a elektronická zátěž

Prvotní záměr pro tvorbu stanoviště bylo využití školní elektronické zátěže EL 9400 - 150 HP a transformátoru s bezpečným napětím 24V a dostatečně proudově dimenzovaným. Tato varianta by poskytovala jednoduchost a přesnost ovládání proudu. Elektronická zátěž dokáže pracovat v různých režimech jako konstantní proud, konstantní výkon nebo konstantní odpor. V našem případě bychom využili konstantní proud nebo konstantní odpor. Ovládání zátěže je možné digitální komunikací přes linku RS232, LAN, GPIB nebo pomocí analogového vstupu 0 až 10 V. Zátěž má pouze jedinou vadu - je na stejnosměrné napětí. Předřazením usměrňovače s pulzním průběhem se zdálo jako možná varianta, přestože usměrňovač by při nízkém napětí působil zkreslení sinusovky díky úbytkům napětí na PN přechodech. Tuto neduhu lze o polovinu snížit použitím aktivního usměrňovače s MOSFET tranzistory, jenž se vyznačuje nižšími úbytky napětí a tím také nižším ztrátovým teplem. Tato varianta

je zamítnuta kvůli nepředvídatelnému chování zátěže s usměrňovačem. Testování použitelnosti neproběhlo z důvodu absence transformátoru o potřebných parametrech.

3.2.2. Autotransformátor a transformátor

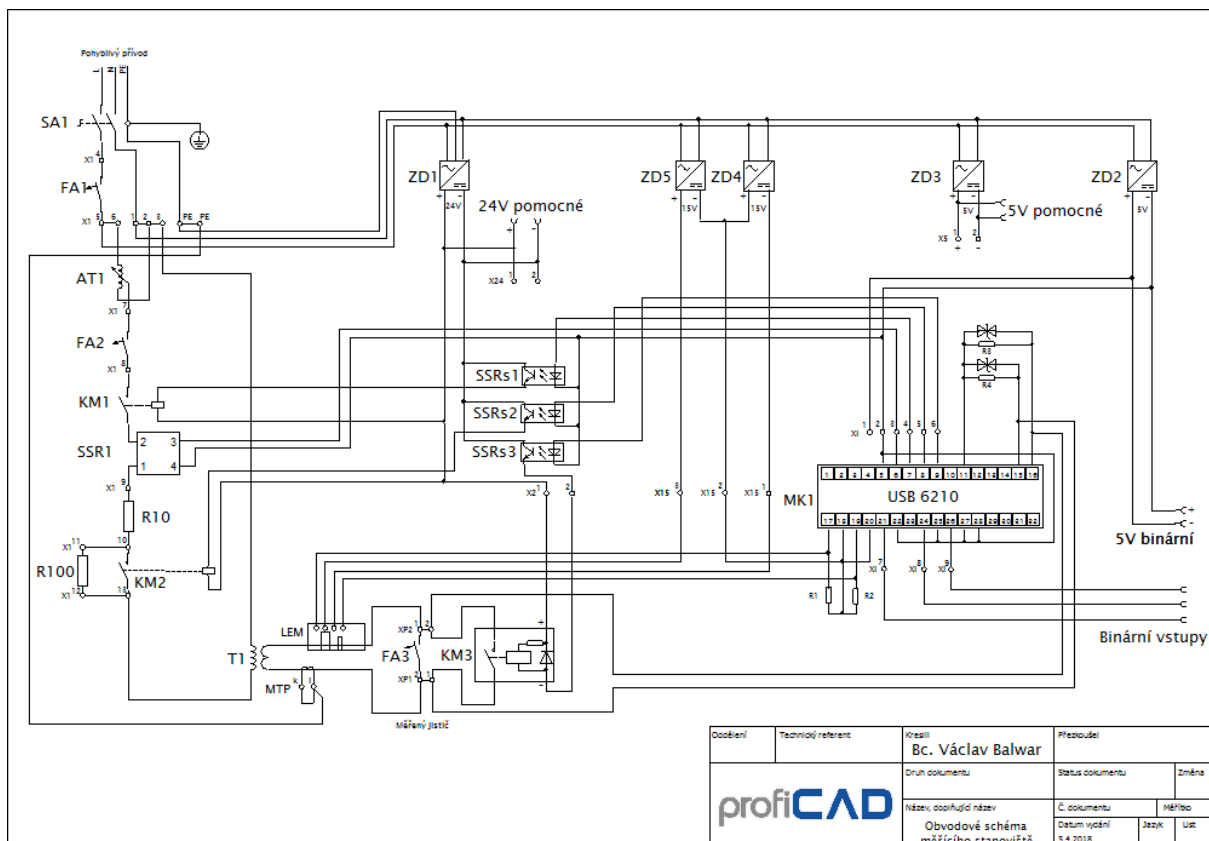
Jinou možností, jak simulovat tak vysoké střídavé proudy, je využít transformátor dostatečně měkký, aby na sekundární straně bylo možné jej mít nakrátko při provozu na jmenovité napětí. Autotransformátor poslouží k regulaci napětí a tedy i proudu sekundárního obvodu. Pro prvotní testy byl použit starý autotransformátor, kterému byl odstraněn sběrač a navinuto několik závitů vodiče průřezu 25mm². Testy ukázaly, že transformátor je schopen dodávat asi při polovičním napětí proud 200A po dobu minuty aniž by docházelo k destruktivnímu přehřívání vodiče nebo vinutí. Dále bylo ověřeno využití rezistorů s pevnou hodnotou pro změnu rozsahu autotransformátoru vzhledem k sekundárnímu proudu transformátoru. Dokážeme tedy jemněji regulovat proud od 0 do 70A. Nevýhodou jsou značné tepelné ztráty na těchto rezistorech. Při druhém testování (Obr. 15) byla ověřena funkčnost s jističi, kde se ukázalo, jak velký vliv má odpor tepelné spouště jističe na proud z transformátoru. Zvyšujícím se odporem na sekundární straně se musí zvýšit i potřebné napětí aby byl zachován proud. Tuto základní myšlenku jsem si v prvotním návrhu neuvědomil. Nejde však o fatální problém, protože odpor spouště vzrůstá vzhledem ke snižující se hodnotě jmenovitého proudu jističe, a tím také dostačuje menší proud pro vybavení zkratové spouště. Dále bylo třeba ověřit funkčnost SSR relé, jak se bude chovat při nízkém napětí včetně zkreslení proudu.



Obr. 15 - Druhé testování (různé jističe vlevo dole)

Celé měřicí (Obr. 15) stanoviště bude obsahovat měření proudu, ovládání stykačů a SSR relé pro bezkontaktní sepnutí v nule. Dále jsou potřebné vstupy pro záznam náběhu a vybavení digitálních ochran. Pro měření proudu jsou použity dva LEM senzory pro nižší a vyšší rozsah, které poskytnou vysokou přesnost měření. LEM senzory vyžadují symetrické napájení, proto zde jsou využity dva 15 V zdroje. Pro rychlost ovládání a oddělení digitálního výstupu měřicí karty jsou použity stejnosměrná SSR relé. Pro bezpečnost manipulace je na přívodu osazen hlavní vypínač. Vzhledem

k použití pohyblivého přívodu a možnosti přehození fázového a středního pracovního vodiče je dle mého názoru vhodné použít dvoupólové vypínání přívodu. Stykač KM3 je zde z důvodu nastavování proudu s vypnutým jističem. Bylo nutno jej dostatečně proudově dimenzovat. Většina zařízení je umístěna v plastovém rozvaděči kromě autotransformátoru a transformátoru s celým proudovým obvodem, senzorů a MTP a měřicí karty.



Obr. 16 - Schéma měřicího stanoviště (Náhled - originál v příloze)

3.3. Transformátor

Jádrem celého měřicího stanoviště je transformátor s velkým proudovým zatížením a nízkým napětím. Potřebný transformátor tedy musí mít vysokou hodnotu napětí na krátko než běžné typy. Dále je třeba si uvědomit, že proud protékající vodičem způsobuje Joulovy ztráty, které nesmí překročit kritickou mez. Jako základ pro transformátor byl použit starý autotransformátor z bývalého měřicího pultu. Pro další použití bylo třeba odstranit sběrač včetně uchycení transformátoru. Jádru je uzavřeno v bakelitovém obalu již od výroby, na kterém je navinuto vinutí. Počet závitů není možné jasně stanovit stejně jako průřez magnetického obvodu. Odhadem se jedná o jádro s plochou cca 30 až 35 cm². Experimentálně dále vím, že na 12,5 závitů se napětí naprázdno, při jmenovitém napětí 230 V na primární straně, pohybuje okolo 5,25 V. Pro sycení tedy platí:

$$B = \frac{U}{4,44 \cdot f \cdot S \cdot N} \quad 3.1$$

Kde: B je magnetická indukce (T)
 U napětí (V)
 f frekvence (Hz)
 S průřez jádra (m^2)
 N počet závitů (-)

Dosadíme-li známé hodnoty, můžeme určit hodnotu indukce a dle ní určit přibližný výkon dimenzování transformátoru.

$$B = \frac{5,52}{4,44 \cdot 50 \cdot 30 \cdot 12,5} = 0,663 \text{ T} \quad 3.2$$

Obvyklá hodnota pro sycení toroidních transformátorů je od 1,3 až do 1,6T. Takto nízkou hodnotu lze vysvětlit výrobními možnostmi, tedy ukládáním vinutí bez mezer kvůli sběrači, aby nedocházelo k přerušením zapájení při změně a také menšími napětími na jeden závit vinutí. Pod jezdcem jsou zkratovány začátky a konce závitů, čímž dochází ke spojení závitu nakrátko. Aby zde nedocházelo k tepelnému přetížení vodiče vinutí, je třeba co nejmenšího napětí na jeden závit vzhledem k jeho průřezu. Výpočet vychází z Ohmova a Jouleova zákona. Pomocí převzatého vzorce lze určit přibližný výkon transformátoru:

$$S = \sqrt{\frac{P}{B}} \quad 3.3$$

Kde: S průřez jádra (m^2)
 B magnetická indukce (T)
 P příkon (W)

$$P = B \cdot S^2 = 0,663 \cdot 30^2 = 562,5 \text{ W} \quad 3.4$$

Tento výsledek vzhledem k transformátoru vcelku odpovídá odhadům. Díky tomu lze určit maximální trvalé proudové zatížení primárního vinutí dle výpočtu.

$$I_1 = \frac{P}{U_1} = \frac{562,5}{230} = 2,44 \text{ A} \quad 3.5$$

Kde: P příkon (W)
 U_1 jmenovité napětí primárního vinutí (V)
 I_1 Proud primárním vinutím (A)

Při tomto proudu lze předpokládat, že s jistotou nedojde k přehřátí vinutí. Transformátor je však nyní obalen izolací, která snižuje odvod tepla, čímž napomáháme přehřátí.

Sekundární strana je navinuta z kabelu CYA 25 mm². Dle tabulkových hodnot je konstruován pro zatížení do 150 A. Měrný odpor vodiče je 0,78 Ω·km⁻¹. Ztrátový výkon na vodiči se tedy určí s jeho nejkratší délkou v zapojení zařízení a vypočítané délky z obvodu jádra. K dispozici mám naměřené hodnoty sníženého napětí a proudu primární strany s proudem na výstupu. Vzhledem k zapojení transformátoru na krátko je sekundární napětí nulové.

Tab. 9 - Naměřené parametry transformátoru

U_{lk} (V)	I_p (A)	I_s (A)
126	4,56	200

Tab. 10 - Rozměry vinutí transformátoru a vývodů

Rozměry jádra	N_2	k	l_v
8x5 cm	12,5	1,05	80 cm

Celková délka vodiče:

$$l = 2(a + b) \cdot k \cdot N_2 + l_v = 2(8 + 5) \cdot 1,05 \cdot 12,5 + 80 = 493 \text{ cm} \quad 3.6$$

Kde: l celková délka (cm)
 a, b rozměry jádra (cm)
 k koeficient zohlednění průměru vodiče k rozměrům jádra (-)
 N_2 počet závitů (-)
 l_v délka vývodů transformátoru k místu spojení (cm)

Dále je třeba určit vyvinuté teplo ve vodiči:

$$P_V = I_2^2 \cdot R_k \cdot l = 200^2 \cdot 0,78 \cdot 4,93 \cdot 10^{-3} = 154,1 \text{ W} \quad 3.7$$

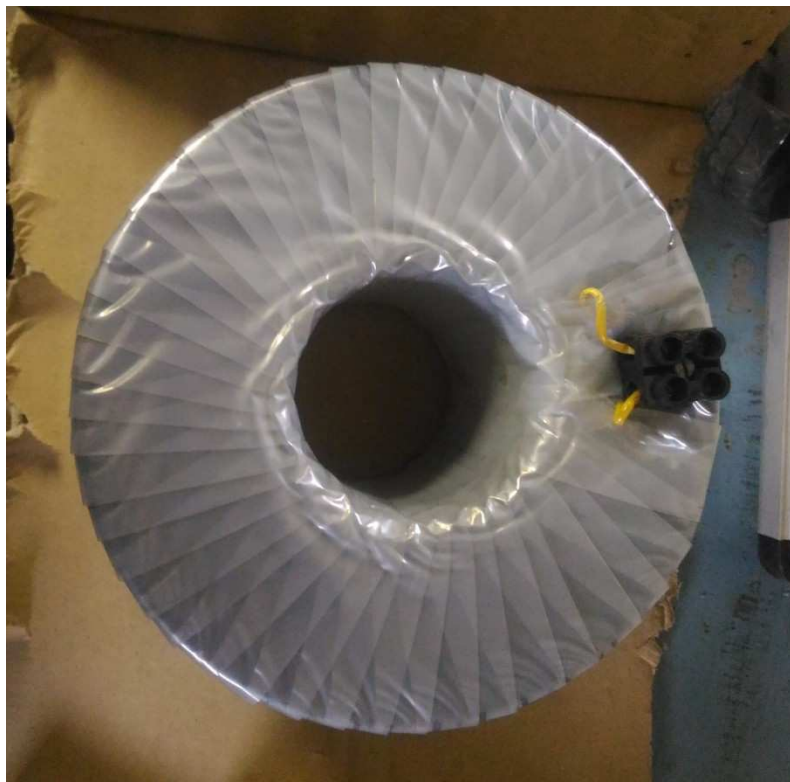
Kde: P_V teplo ve vodiči (W)
 I_2 proud sekundárním vinutím (A)
 R_k měrný odpor vodiče (Ω·km⁻¹)
 l délka vodiče

Tato hodnota vyjadřuje teplo, které musí vodič odevzdat do okolí ve stavu nakrátko. Reaktanci kabelu zde neuvažujeme. Využitím slané vodiče zde nedochází ani k razantnímu vlivu skinefektu, který je i tak při 50 Hz zanedbatelný. Tabulková hodnota zatížení odpovídá maximálně ztrátám přibližně 86 W na stejnou délku. Z toho lze tedy usoudit, že krátkodobé přetěžování vydrží. V softwarové části je na to ale třeba pohlížet jako věc, která má být hlídána automatikou. Časově nejlépe dle integrálu $I^2 t$ a vypnout před dosažením kritické teploty. Totéž platí pro primární vinutí. Proud primárního vinutí je téměř dvounásobný a nelze určit, jak se vinutí ohřeje. Pro určení přetěžování je také třeba znát příkon tohoto transformátoru v tomto stavu nakrátko. V hodnotách měření chybí účinník, takže není možné určit činné ztráty.

$$S_1 = U_{1k} \cdot I_1^2 = 126 \cdot 4,56 = 574 \text{ VA} \quad 3.8$$

Kde: S_1 zdánlivý příkon (VA)
 U_{1k} snížené napětí primárního vinutí (V)
 I_1 proud protékající primárním vinutím (A)

Transformátor byl upraven svépomocí. Provedl jsem zesílení izolace mezi vinutími PVC páskou v dvojím potahu a následně použil tepelně odolnou izolační pásku na bázi polyesteru k zvýšení bezpečnosti. Páska, protože není lepicí, se musí stáhnout a přeložit z poloviny při dalším ovinu tak, aby byla izolace pevná, a tak nedocházelo k posunu pásky. Provedení izolace je pro ilustraci níže (Obr. 17). Vzhledem k spotřebě asi 10 metrů pásky nebylo vhodné použít izolaci v kuse. Izolace je tedy skládána ze dvou 5 metrových kusů na koncích překrývající se. Na tuto izolaci jsem později vinul sekundární vinutí vodičem CYA 25. Vzhledem k tloušťce PVC izolace je daleko bezpečnější použití tohoto vodiče, než vinout hranatý lakovaný vodič. To platí pouze v případě jednovrstvého vinutí, kde je možný dobrý odvod tepla. V případě vinutí vícevrstvého by PVC pracovalo jako tepelný izolant a degradovalo v nižších přehřívaných vrstvách. Vodič bylo nutno dobře stahovat, aby vinutí nebylo příliš volné a při zkratování výstupních svorek nedocházelo k posuvu. Fixaci vinutí zajišťují podložky z nevodivého materiálu Pertinax. Ty podložky jsou staženy šroubem a tím tvořit úchyt transformátoru na montážní panel. Svorkovnice je nahrazena kabelem s pevným spojením a fixací k transformátoru, což by mělo vést ke zvýšení bezpečnosti. Hotový transformátor je možné vidět na Obr. 18, upevněný na Obr. 19.



Obr. 17 - Izolační vrstva transformátoru



Obr. 18 - Navinutý transformátor



Obr. 19 - Uchycení transformátoru

3.4. Uchycení vodičů

Vodiče proudového obvodu při sepnutí do zkratu při plném napájecím napětí vytvářejí nejsilnější magnetické pole, jehož působením vzniká největší dynamické namáhání vodičů. Tyto síly při zkratových proudech mohou dosáhnout velkých hodnot. Je tedy třeba ověřit, jaké maximální působení síly na vodič lze očekávat. Nesmí dojít při chybě obsluhy k utrhnutí vodičů z úchytnů a možnému zranění. Budeme předpokládat, že na panelu nastane nejdelší souběh vodičů

ve vzdálenosti 5 cm a délce 30 cm. Pro výpočet dynamického proudu budeme vycházet z naměřené hodnoty proudu při sníženém napětí.

$$I_k = I_s \cdot \frac{U_N}{U_{1k}} = 200 \cdot \frac{230}{126} = 365 \text{ A} \quad 3.9$$

Kde: I_k ustálená hodnota zkratového proudu při U_{1k} (A)
 U_N plné síťové napětí (V)
 U_{1k} snížené napětí primárního vinutí (V)

Ačkoliv neznáme indukčnost obvodu, můžeme ji alespoň přibližně odvodit z naměřených hodnot. Vycházíme z napětí naprázdno jakožto indukovaného napětí a ustálené hodnoty zkratového proudu. Tuto hodnotu potřebujeme k určení časové konstanty průběhu stejnosměrné složky střídavého proudu. Dále vypočítáme zkratový nárazový proud v čase 0,01s kdy víme, že dosahuje největší hodnoty amplitudy. Použitím SSR relé se spínáním v nule bude zkratový proud obsahovat stejnosměrnou složku a transformátor při zapnutí způsobí největší proudové nárazy. Proto je vhodné využít tlumicí odpor snižující tuto hodnotu. Zde s ním ovšem pro zjednodušení nepočítáme.

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{\left(\frac{U_{2N}}{I_k}\right)^2 - (R_k \cdot l)^2} \quad 3.10$$

$$X = \sqrt{\left(\frac{5,25}{365}\right)^2 - (0,78 \cdot 4,93 \cdot 10^{-4})} = 13,9 \Omega$$

Kde: X vypočtená reaktance transformátoru a vodiče (Ω)
 U_{2N} napětí naprázdno sekundárního vinutí při plném napájecím napětí (V)
 I_k ustálená hodnota zkratového proudu při U_N (A)
 R_k měrný odpor vodiče ($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)
 l délka vodiče (km)

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{\frac{X}{2 \cdot \pi \cdot f}}{R} = \frac{X}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_k \cdot l} \quad 3.11$$

$$\tau = \frac{13,9}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,78 \cdot 4,93 \cdot 10^{-4}} = 0,01147 \text{ s}$$

Kde: τ časová konstanta (s)
 L indukčnost (H)
 f frekvence (Hz)
 R odpor obvodu (Ω)
 X reaktance odpor obvodu (Ω)
 R_k měrný odpor vodiče ($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)
 l délka vodiče (km)

$$i_p = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot (-\cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) + e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$i_p = \sqrt{2} \cdot 365 \cdot (-\cos(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,01) + e^{-\frac{0,01}{0,01147}}) = 732 \text{ A} \quad 3.12$$

Kde: i_p nárazový zkratový proud (A)
 τ časová konstanta (s)
 f frekvence (Hz)
 t čas (s)

Vypočítaný nárazový zkratový proud je hodnota, kterou je teoreticky možné dosáhnout s tímto transformátorem. Prakticky ale nebude nikdy dosažena vzhledem k zapojení s tlumícími odpory. Dosazením do vzorce budeme mít výsledek působení sil mezi vodiči. Již předem je možné říci, že tyto síly budou velmi malé.

$$F = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{2\pi} \cdot \frac{i_p^2 \cdot l_s}{d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1}{2\pi} \cdot \frac{732^2 \cdot 0,3}{0,05} = 0,643 \text{ N} \quad 3.13$$

Kde: F síla působící mezi vodiči (N)
 μ_0 permeabilita vakua ($\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$)
 μ_r relativní permeabilita prostředí (-)
 i_p nárazový zkratový proud (A)
 l_s délka souběhu vodičů (m)
 d vzdálenost mezi vodiči (m)

Síla, kterou se vodiče budou odpuzovat na délce 30 cm a vzdáleností 5 cm, je 0,6 N při plném zkratu. To je působení přibližně 60 g váhy, což je možná méně, než samotná váha vodiče na této délce. Dá se tedy s jistotou říci, že přichycení kabelu pomocí vázacích pásek i s lepicími příchytkami nezpůsobí nebezpečný pohyb vodičů. Výpočet vzdálenosti úchytů je dle mého názoru naprosto zbytečný a uchycení se provede tak, aby vodič nebyl prohnutý a příliš volný.

3.5. Výkonový stykač

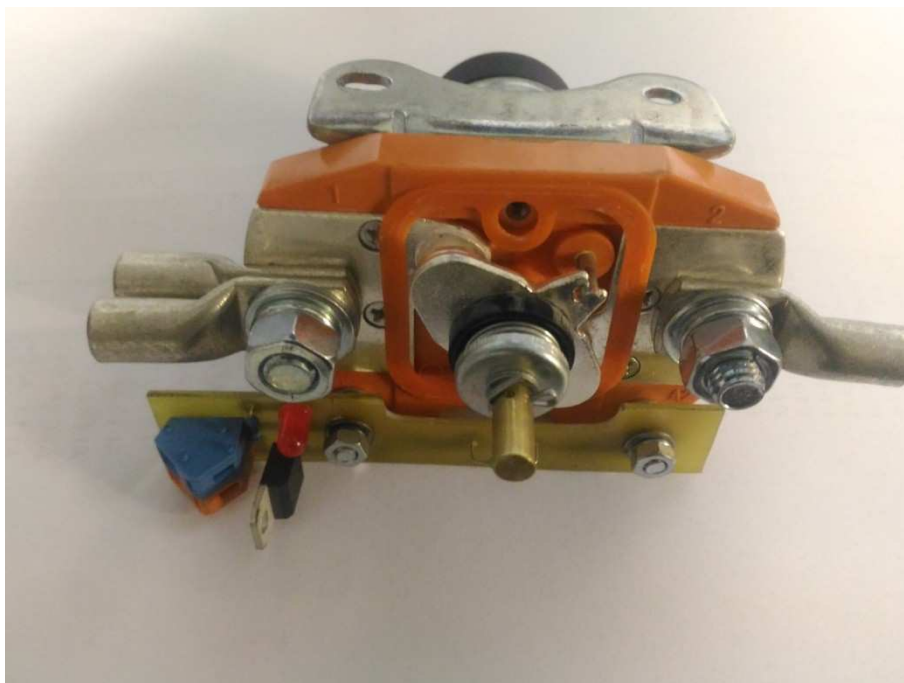
Pro potřebu nastavování proudu mimo měřený jistič je jej třeba překlenout, aby nedocházelo k nežádoucímu ohřevu tepelné spouště při nastavování. Dále je možné tento stykač využít při měření ochran využívající připravený měřicí transformátor proudu. Pro tuto funkci byly zamýšleny tyto varianty:

- Stykač 3x70A 230/400V se zapojením všech fází paralelně
- Stykač 200A 230/400V se zapojením jedné fáze
- Stykač 200A 24V pro startér spalovacího motoru

Volba stykače se vztahovala i k ceně přístroje a naddimenzovanosti. V obvodu je naprázdno 5,25 V AC při plném napájecím napětí. Je tedy nesmysl zde umisťovat stykač nutně dimenzovaný na 230V AC. Pro zátěž 200A také nebude úplně vhodné využívat více paralelních kontaktů, které jsou nedostatečně naddimenzovány. Vlivem nečistot, nerovnosti nebo nestejnomyšlností stykových ploch kontaktu, se při tak vysokém proudu může i nepatrný rozdíl odporů změnit rozložení proudu

na kontaktech a tím je tepelně namáhat. Jedná se ale o levnější variantu, než použít stykač proudově dimenzovaný, který se pohybuje v řádech tisíců korun, je rozměrnější a těžší.

Při údržbě zahradního traktůrku mě napadla varianta využít podobný stykač, jako byl použit u tohoto startéru. Tento stykač je dimenzován na stejnosměrné napětí, což je pro vypínání při zátěži mnohem horší než střídavé napětí vzhledem k zhášení oblouku. Proudové dimenzování je také vysoké vzhledem k točivému momentu tohoto DC motoru. Spínací cívka je stejnosměrná na nízké napětí, což u velkých stykačů vždy nebývá. Cena takového zařízení se pohybuje okolo 700 korun, což je přijatelné. Stykač a jeho vnitřní kontakty jsou viditelné na obrázcích níže (Obr. 20). Stykač kvůli omezení indukovaného napětí při vypnutí je vybaven antiparalelní diodou, která odstraňuje namáhání spínacího SSR relé na přepětí. Dále pro omezení spínacího proudu je sériově k cívce zařazen rezistor pro omezení proudu cívkou při sepnutí tak, aby nedošlo k přetížení SSR relé. Tato krátkodobá hodnota okolo 5 A by pravděpodobně nezpůsobila jeho zničení, není však vhodné to zkoušet při vícenásobném zapnutí v krátkém čase. Toto omezení proudu může však způsobit prodloužení času přitahu elektromagnetu. Jelikož bude spínání probíhat v beznapěťovém stavu, není toto zpoždění v rozporu s funkcí.



Obr. 20 - Stykač 24V DC 200A bez krytu

Stykač je dvoukontaktní, čímž dochází k natáhnutí oblouku na dvounásobnou vzdálenost a rychlejšímu uhašení. Průměr kontaktu je 11 mm. To odpovídá při zatížení 200A proudové hustotě $2,1 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$. Pro materiály kontaktů je tato hodnota daleko vyšší, z čehož lze usoudit, že větší ztráty budou na vodičích než na kontaktech, a to i v případě nedoléhající celé plochy kontaktů, což potvrzují i prvotní testy na oteplení.

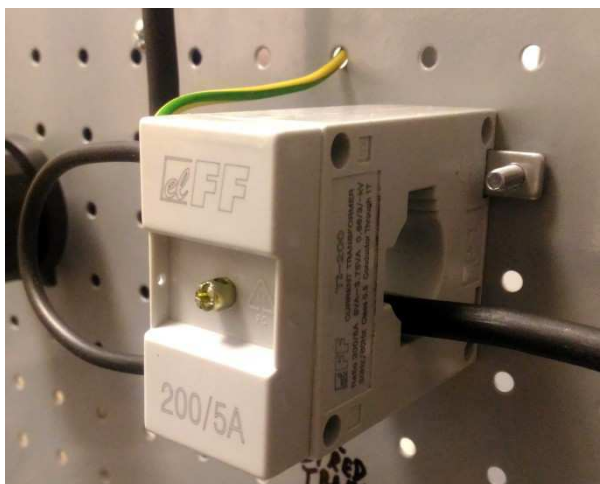
Na stykači se při vysokých střídavých proudech objevuje jev působení proměnného magnetického pole na vnitřní podložku a působí její vibrace a otáčení, což způsobuje jemné zvukové projevy. Nejedná se však o poruchu funkčnosti samotného přístroje.

3.6. Pomocný měřicí transformátor proudu

Tento transformátor proudu je zde pro možnost testování IED ochran s analogovými proudovými vstupy 1A a 5A. V zapojení je také možné připojit vlastní měřicí transformátor pro VN aplikace a určit jejich měřicí chyby.

Pro tuto aplikaci nebyl zvolen jisticí, ale měřicí transformátor proudu s převodem 200/5 A 5VA. (Obr. 21) Chyba měření tohoto transformátoru je maximálně 0,5%. Jedná se o transformátor primárně určen k nepřímému měření spotřeby elektrické energie. Pro naše účely tato nízká chyba převodu zpřesňuje měření ochran a jejich testování.

Zapojení k ochranám bude prováděno přímo vodiči bez zbytečných spojů a svorek, na kterých může dojít k přerušení špatnou manipulací. U tohoto přístroje nesmí nikdy v žádném případě dojít k přerušení sekundární strany transformátoru. Došlo by ke vzniku vysokého napětí na těchto svorkách a možnému zranění. Jeden konec transformátoru má také být přizemněn. Proti vysokému napětí při rozpojení obvodu by zde mohl být umístěn varistor nebo transil s dostatečným dimenzováním. Vodiče budou použity alespoň 2,5mm² nebo takové, aby při součtu úbytků na vodičích a transformátoru v ochraně bylo menší než zdánlivý výkon transformátoru.



Obr. 21 - Pomocný měřicí transformátor proudu 200/5 A

3.7. Svorky proudového obvodu

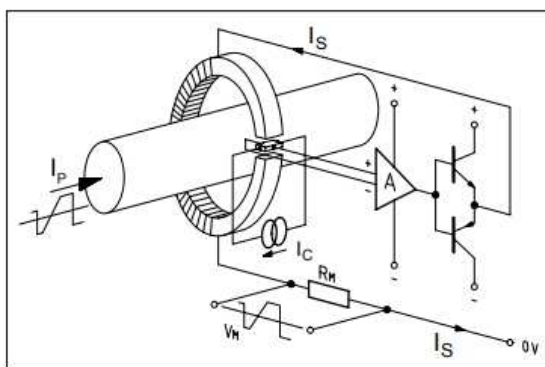
Protože některé kompaktní jističe nejsou konstruovány pro průřezy větší než 16 mm², musí být vývody z transformátoru průřezově sníženy. Stejný případ platí pro průvlekový transformátor v IED typu PMS-01. Norma umožňuje snížení průřezu pouze v případě, pokud je předřazeno snížené jištění. Zde nelze předřazené jištění uplatnit. Snížením průřezu je jisté, že se úbytek napětí na vodiči sníženého průřezu naroste, což se podepíše i na ztrátovém výkonu na tomto úseku. Je tedy nutné, aby zde byla implementována alespoň základní softwarová ochrana s tepelným integrálem odpovídajícím typu vodiče. Je nutno zabránit nadměrnému přehřátí vodiče i za cenu nedokončeného měření.

Pro spojení vodičů jsou využity svorky pro vodiče do 35 mm² a zatížení 150A trvale. Měření s takovými proudy bude krátkodobé v délce maximálně desítek sekund. Pro spojení sousedních svorek je použit propojovací hřeben, který je kvůli možným přechodovým odporům zdvojen. Svorky jsou umístěny na DIN liště pro jistič nebo ochranu. Svorky, kvůli vzniku přechodových odporů, by se nemělo rozpojovat. Konce nepřipojených vodičů se zajistí proti spojení v pomocných svorkách proti náhodnému spojení.

3.8. LEM senzory měření proudu

Pro zajištění přesného měření proudu budou využity dva LEM senzory. Jeden pro rozsah do 50A druhý pro rozsah do 200A. LEM senzory jsou aktivní prvky vyžadující napájení. Mohou měřit jak střídavé, tak stejnosměrné proudy i o vysokých frekvencích (200kHz). LEM senzorů je více typů dle magnetické vazby a použitých kompenzací vně ke zpřesnění měření.

Náš senzor je použit s uzavřenou smyčkou a Hallovou sondou. Celý princip je ve využití Hallova napětí z výstupu se zesílením pro napájení vnitřní cívky umístěné na magnetickém obvodu. Tak se magnetický tok způsobený proudem vodičem I_P a proudem zvláštním vinutím I_S vyrovná a je nulový. Velikost proudu pomocným vinutím je přímo úměrná proudu měřeným vodičem. Poté se na bočníku R_M snímá napětí, které odpovídá měřenému proudu.



Obr. 22 - Schéma LEM senzoru s uzavřenou smyčkou [10]

Mnou použité LEM senzory vyžadují symetrické napájení $\pm 15V$, které obstarávají dva sériově spojené zdroje s vyvedením středu. Napěťový výstup zpracovává dále popsaná měřicí karta pro s/A/D převodníky. Délka vodičů od senzorů ke kartě vzhledem k povaze signálu musí být co nejmenší. Napěťové úrovně vlivem indukce od proudového vodiče mohou být velmi ovlivněny při blízkém souběhu. V horším případě bude nutné vodič vyměnit za stíněný typ. Stejně ovlivnění platí i pro vyvedení umělé nuly od zdroje ke kartě. Bočník je počítán dle Ohmova zákona na úbytek napětí. V katalogovém listu jsou uvedeny hodnoty sekundárního proudu pro výpočet.

Tab. 11 - Hodnoty uvedené v katalogovém listu LEM senzorů [11][12]

	LA 55-P	LA 200-P
Jmenovitá hodnota primárního proudu RMS I_{PN}	50 A	200 A
Měřicí rozsah I_{PM}	0 - 70 A	0 - 300 A
Převod	1:1000	1:2000
Jmenovitá hodnota sekundárního proudu I_S	50 mA	100 mA
Maximální odpor bočníku R_M pro I_{PN}/I_{PM} A	50 - 160 / 50 - 90 Ω	0 - 60 / 0 - 12 Ω
Proud vlastní spotřeby I_c	10 mA	16 mA
Přesnost měření X	0,65 %	0,4 %
Chyba linearity	<0,15 %	
Chyba offsetu I_0	0,2 mA	
Chyba offsetu magnetického senzoru I_{0M} po předchozím přetížení $3 \times I_{PN}$	0,3 mA	0,25 mA
Teplotní chyba offsetu pro rozsah 0 - 70 °C	0,1 - 0,6 mA	0,1 - 0,25 mA

Výpočet bočnicku pro 50A LEM senzor. Vstup měřicí karty má maximální napětí 10 V. Zvolený rozsah je 5V. Této hodnotě může odpovídat maximálně amplituda napětí na bočnicku, proto je ve výpočtu ještě přepočet amplitudy na efektivní hodnotu. Hodnota ve výpočtu vyplývá z reálného napětí maxima měřicí karty, které je lehce vyšší:

$$R_{M50} = \frac{U_I}{(I_{c50} + I_{S50}) \cdot \sqrt{2}} = \frac{10,4}{(0,01 + 0,05) \cdot \sqrt{2}} = 123 \, \Omega \quad 3.14$$

Kde: R_{M50} bočník LEM senzoru LA 55-P
 U_I napěťový rozsah vstupu měřicí karty
 I_{S50} efektivní hodnota sekundárního proudu při jmenovitém primárním proudu
 I_{C50} efektivní hodnota sekundárního proudu při jmenovitém primárním proudu

$$R_{M200} = \frac{U_I}{(I_{c200} + I_{S200}) \cdot \sqrt{2}} = \frac{2,52}{(0,016 + 0,1) \cdot \sqrt{2}} = 15,4 \, \Omega \quad 3.15$$

Kde: R_{M200} bočník LEM senzoru LA 200-P
 U_I napěťový rozsah vstupu měřicí karty
 I_{S200} efektivní hodnota sekundárního proudu při jmenovitém primárním proudu
 I_{C200} efektivní hodnota sekundárního proudu při jmenovitém primárním proudu

Tyto hodnoty splňují podmínky v katalogovém listu, kdy jsou nižší než maximální hodnota R_M . Je třeba však vzít v úvahu ořez průběhu při přiblížení k horní hranici proudového rozsahu vlivem bočníků. Nesplňují kritérium hodnot pro maximální proudy. Volené hodnoty odporu jsou skládány z normalizovaných hodnot. Kalibraci je třeba nastavit v softwarové části pro co nejpřesnější měření.

LEM senzory jsou umístěny na jednostranné DPS s výstupní svorkovnicí. Uchycení na panel je provedeno pomocí hliníkového montážního držáku na DIN lištu. Silový vodič je provlečen senzory a přichycen stahovacími pásky proti pohybu. Měřicí bočník bude připojen těsně u konektoru měřicí karty kvůli eliminaci rušení.



Obr. 23 - Modul LEM senzorů (LA55-P nahoře, LA200-P dole)

3.9. Měřicí karta

V zařízení je použita měřicí karta typu USB6210 od firmy National Instruments. Tato karta je srdcem celého zařízení. Pro měření proudu a napětí jsou využity tři A/D převodníky. Při 250 kS/s dosahuje dostatečného počet vzorků pro přesné určení efektivních hodnot. Zpoždění mezi kanály v našem případě nemá příliš vliv pro budoucí řešení.

Karta dále obsahuje binární vstupy a výstupy využitelné pro ovládání celého zařízení. Hlavním požadavkem je dostatečný počet vzorků nejen pro vyhodnocení efektivní hodnoty proudu a možnou kalibraci ochran, ale i času vypnutí jističe. Pro měření digitálních ochran jsou zde binární vstupy s možností využití hardwarového časovače implementovaného v měřicí kartě. Karta disponuje rozhraním USB pro připojení k PC. Hlavní parametry jsou uvedeny níže:

Analogové vstupy:

- 8 diferenciálních nebo 16 samostatných vstupů
- 16 bitové rozlišení převodníku
- Počet vzorků při multikanálovém měření: 250 kS/s
- Čas převodu: 50 ns
- Vstupní vazba: DC
- Rozsah vstupů: $\pm 0,2$ V; ± 1 V; ± 5 V; ± 10 V
- Maximální trvalé/krátkodobé přepětí: $\pm 10,4$ V/ ± 30 V (± 20 V při vypnutém zařízení)
- Chyby převodu při multikanálovém měření:
 - ± 90 ppm na kroku (± 6 LSB) při trvání převodu 4 μ s
 - ± 30 ppm na kroku (± 2 LSB) při trvání převodu 5 μ s
 - ± 15 ppm na kroku (± 1 LSB) při trvání převodu 7 μ s
- Teplotní chyba vstupního zisku: 7,3 ppm/ $^{\circ}$ C
- Teplotní chyba reference napětí: 5 ppm/ $^{\circ}$ C
- Chyba integrální nelinearity (INL chyba) 76 ppm z rozsahu

(Ostatní chyby jsou uvedeny v Tab. 12)

Digitální vstupy/výstupy:

- 4 binární vstupy (0-3) a 4 binární výstupy (4-7)
- Pull-down rezistory: 47 k Ω
- Napěťová ochrana vstupu: ± 20 V
- TTL standard vstupních napěťových hodnot: $V_{IL} = 0 - 0,8$ V
 $V_{IH} = 2 - 5,25$ V
- Maximální výstupní proud: 16 mA

Čítače/časovače:

- Počet čítačů/časovačů: 2
- Rozlišení 32 bitů
- Definovatelné vstupy: 0-3
- FIFO paměť 1023 vzorků

Vnitřní oscilátor:

- Počet výstupů: 1
- Základní frekvence: 10 MHz, 100 kHz

- Dělička: 1 až 16
- Odchylka kmitočtu: 50 ppm

Tab. 12 - Chyby měření měřicí karty USB 6210 [13]

Rozsah napětí (V)	Reziduální chyba zesílení Δ_{RG} (ppm z rozsahu)	Reziduální chyba offsetu Δ_{ROff} (ppm z rozsahu)	Teplotní změna offsetu Δ_{OffT} (ppm z rozsahu/°C)	Náhodný šum U_{RNoise} (μV)
$\pm 10V$	75	20	34	229
$\pm 5V$	85	20	36	118
$\pm 1V$	95	25	49	26
$\pm 0,2V$	135	40	116	12

Pro výpočet absolutní chyby, který může být potřeba pro výpočet chyby měření celého měřicího stanoviště, jsou v katalogovém listu uvedeny tyto rovnice [13]:

$$\Delta U = U_{nam} \cdot \Delta_G + U_r \cdot \Delta_{Off} + \Delta_{Noise} \quad 3.16$$

Kde: ΔU absolutní chyba napětí (V)
 U_{nam} naměřená hodnota napětí (V)
 U_r rozsah vstupního napětí (V)
 Δ_G celková chyba vstupního zesílení (ppm)
 Δ_{Off} celková chyba offsetu (ppm)
 Δ_{Noise} šumová nejistota (V)

$$\Delta_G = \Delta_{RG} + \Delta_{GT} \cdot (\Delta T_{IN}) + \Delta_{RT} (\Delta T_{EXT}) \quad 3.17$$

Kde: Δ_G celková chyba vstupního zesílení (ppm)
 Δ_{RG} reziduální chyba zesílení (ppm)
 Δ_{GT} teplotní chyba zesílení (ppm/°C)
 Δ_{RT} teplotní chyba reference (ppm/°C)
 ΔT_{IN} teplotní odchylka od teploty při vnitřní kalibraci (°C)
 ΔT_{OUT} teplotní odchylka od teploty při vnější kalibraci (°C)

$$\Delta_{Off} = \Delta_{ROff} + \Delta_{OffT} \cdot (\Delta T_{IN}) + \Delta_{INL} \quad 3.18$$

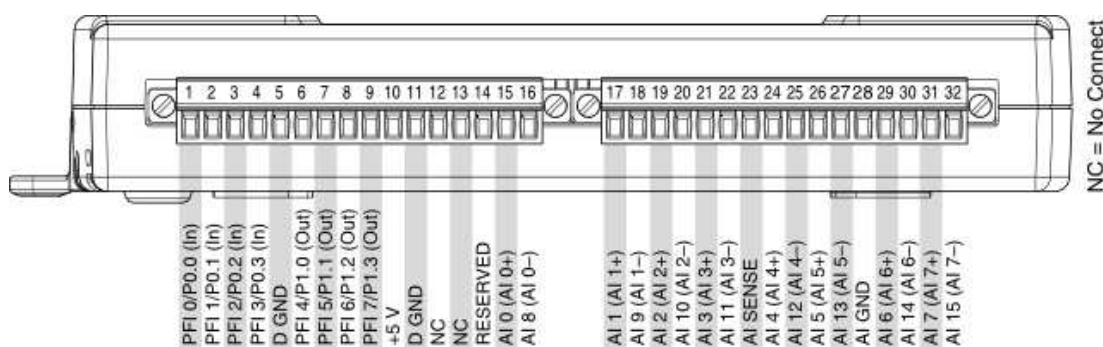
Kde: Δ_G celková chyba vstupního zesílení (ppm)
 Δ_{ROff} reziduální chyba offsetu (ppm)
 Δ_{OffT} teplotní chyba offsetu (ppm/°C)
 Δ_{RT} teplotní chyba reference (ppm/°C)
 Δ_{INL} teplotní chyba integrační nelinearity (ppm)
 ΔT_{IN} teplotní odchylka od teploty při vnitřní kalibraci (°C)

$$\Delta_{Noise} = \frac{U_{Rnoise} \cdot 3}{\sqrt{100}} \quad 3.19$$

Kde: Δ_{Noise} šumová nejistota (μV)
 Δ_{RNoise} náhodný šum (RMS) (μV)



Obr. 24 - Měřicí karta USB 6210



Obr. 25 - Rozmístění portů karty USB6210 [14]

Měřicí karta má vstupy chráněné proti přepětí, ale pro měření napětí v rozpojeném obvodu proudového obvodu zde může díky plovoucí napěťové hladině vzniknout mnohonásobně vyšší přepětí na svorkách diferenčního vstupu AI 0+ a AI 0-. Pro eliminaci přepětí bude na vstup umístěn paralelní článek složený z rezistoru a obousměrného transilu proti zemnicí svorce DGND. Svorky DGND a AGND jsou vnitřně spojeny. Celá karta je spojena s uzemněním přes USB port a zdroj počítače. Všechny pomocné zdroje v měřicím stanovišti vyjma ZD1 jsou izolovány.

3.10. Uložení silových a datových vodičů, souběh vodičů, stínění

Uložení všech silových, řídicích a napájecích vodičů nebo kabelů vyjma měřicího proudového obvodu bude provedeno pomocí PVC elektroinstalační lišty pro drátování rozvaděčů. Tato lišta s perforováním poskytuje rychlé a jednoduché přidání vodičů bez nutnosti vrtání přístupných děr.

Tam kde tato lišta nebude vhodná, jsou použity plastové úchyty pro plastové vázací pásky. Tyto úchyty jsou pomocí distančního válečku využity i pro uchycení silových vodičů proudového obvodu.

Prostupy přes plechový panel jsou zabezpečeny před prodřením izolace pomocí gumové průchodky nebo použitím plastových průchodek PG 11. Pokud dojde ve stísněném prostoru k nedostatku místa pro ohyb, je z průchodky odstraněna část s ucpávkou a je použit pouze závit se zajišťovací maticí. Nejedná se zde o porušení třídy IP, což umožňuje toto řešení, avšak neplatí pro vývody z rozvaděče nebo jiných zařízení. Vztahuje se pouze na prostup plechu panelu.

Pro omezení rušení analogových i digitálních signálů elektromagnetickým polem silových vodičů musí být použito stíněných vodičů a umístění karty co nejblíže k modulu LEM senzorů. Měřicí karta je spojena s periferiemi pomocí kabelu YSLCY 5x0,75 OZ a to jak pro binární signály, tak pro napěťové měření. Stínění bude připojeno k podružné zemnici svorce v rozvaděči. Dále přívod napájení k modulu bude proveden stíněným slaněným vodičem YSLCY 5x0,75 OZ. Stínění bude také připojeno k zemnici svorce v rozvaděči zařízení. Souběh vodičů bude, co nejmenší a pokud možno velkou vzdáleností od silových vodičů.

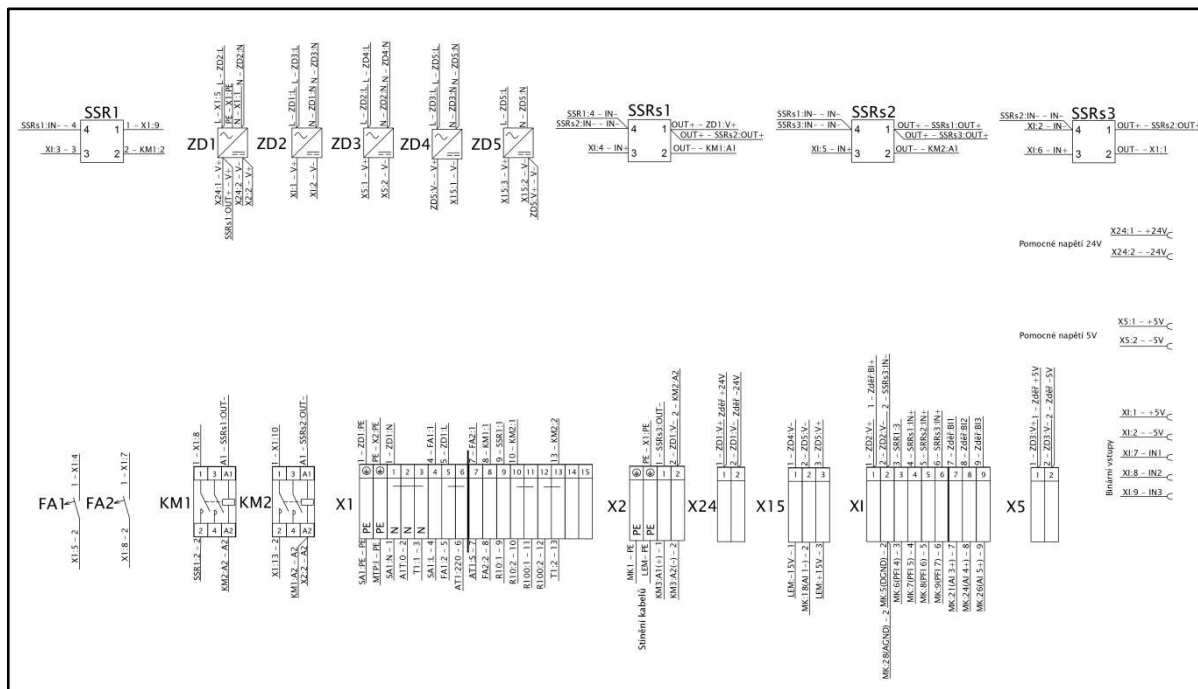
3.11. Rozvaděč, vybavení rozvaděče

Stanoviště lze rozdělit na část ovládací a silovou. Zapojovací výkres se nachází v příloze, náhled je níže na Obr. 26. Rozmístění prvků v rozvaděči je taktéž v příloze. Ovládací část je výhradně napájena galvanicky odděleným bezpečným napětím. Tímto je zajištěna bezpečnost živých částí bez krytí tedy IP0X (šroubový spoj ovládání stykače KM3) nebo částí s krytím IP2X (svorkovnice). Všechny přístroje vyjma autotransformátoru, transformátoru a odporů, které jsou připojeny na NN napěťovou hladinu, jsou umístěny v plastovém rozvaděči s krytím minimálně IP44. Volbě krytí by měl předcházet protokol o vnějších vlivech. Pro osoby poučené (studenti s platným školením z Bezpečnosti v elektrotechnice) norma hovoří, že má být zabezpečeno dostatečné krytí elektrických částí a horkých povrchů, ale není předepsáno jaké. Byl by tedy nutný celý protokol o vnějších vlivech. Všechny vodiče jsou vybaveny návrškovými popisky dle výkresu pro snadnou orientaci směru vodiče.

Silová část se nachází na levé straně rozvaděče. Pro vydrátování je použit vodič CYA 2,5mm² barvy černé pro fázové vodiče a světle modrá pro střední pracovní vodiče. Vodiče jsou uloženy v lištách. Pro nedostatek místa není možno instalovat lišty zvlášť pro silový a ovládací obvod nebo přepážky, takže jsou vedeny společně, ale tak, aby byl souběh vodičů co nejmenší. Přívod je jištěn jističem B 10A Kanlux. Na svorkovnici X1 je rozvětven pro pomocné napájecí zdroje a autotransformátor. Za autotransformátorem je zařazen další jistič B 6A Kanlux. Tímto je jištěn autotransformátor před přetížením. Poté je zařazen stykač KM1 a SSR relé se spínáním v nule. Takto nedochází k deformaci první půlvlny průběhu na sekundární straně transformátoru T1. Dále jsou v obvodu zařazeny odpory R10 a R100. R10 omezuje ráz při zapnutí a R100 snižuje rozsah výstupního proudu dle napětí nastavovaného autotransformátorem.

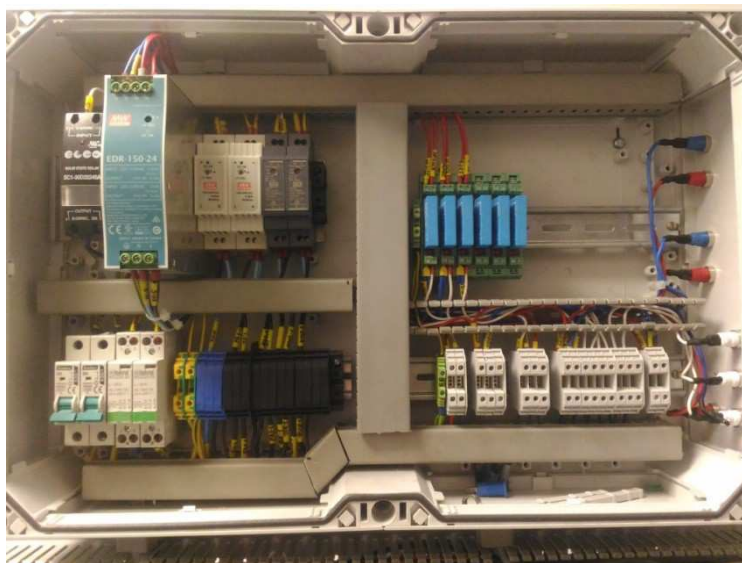
Na pravé straně se nachází ovládací část. Vydrátování je provedeno červeným (kladný pól) a tmavomodrým (záporný pól) vodičem CYA 1mm². Pro binární signály je použit bílý vodič. Na spodní pozici se nacházejí svorkovnice X2; X24; XI; X15 a X5. Značení svorkovnic vychází

z daného využití. Svorkovnice X2 je pro připojení stykače KM3. X24; X15 a X5 jsou svorkovnice od napájecích zdrojů s danou napětovou hladinou. XI je svorkovnice vyhrazena pro připojení měřicí karty (binární vstupy a výstupy). Na vrchní montážní liště jsou 3 SSR stejnosměrného typu pro spínání stykačů. Z toho je odvozeno pojmenování SSRs. Tyto relé poskytují galvanické oddělení měřicí karty od stykačů. Maximální zatížení SSR dokumentace uvádí 4 A, které je pro toto využití dostatečné vyjímaje KM3, viz kapitola 3.5.



Obr. 26 - Zapojovací výkres rozvaděče (Náhled - originál je v příloze)

Všechny pomocné zdroje jsou umístěny na levé vrchní montážní liště, čímž tvoří přirozenou dělicí hranici nízkého a bezpečného napětí. Vývin tepla z těchto přístrojů je třeba vzít v úvahu na kontrolu oteplení rozvaděče. Na pravé straně rozvaděče se nachází panelové zdířky pro rychlé připojení a odpojení vodičů od ochrany. Jsou zde dva pomocné zdroje 5 V a 24 V. Dále pak tři binární vstupy se zdrojem od měřicí karty 5 V. Tyto vstupy mohou být použity i jako analogové.



Obr. 27 - Foto rozvaděče měřicího stanoviště

Rozvaděč vzhledem ke zdrojům a dalším zařízením musí být zkontrolován na oteplení. To provedu dle normy IEC 890, která v dnešní době není platná, ale je převzatá do normy ČSN EN 61439-1 ed. 2. Norma počítá s uložením rozvaděče dle tabulky. Jednotlivým plochám a jejím uložením odpovídá daný koeficient. Pomocí těchto koeficientů se vypočítá tzv. účinná chladicí plocha. Rozměry rozvaděče jsou 35,5 x 53,5 x 16,5 cm (v x š x h). Rozvaděč je z ABS plastu, čelní panel z plexiskla. Pro plastový rozvaděč je součinitel přestupu tepla roven $3,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Pro výpočet je nutné znát ztrátový výkon všech přístrojů v rozvaděči a kabeláže. Ztrátový výkon jističů a stykačů jsem přebral z normy, ve vlastní dokumentaci uvedeny nebyly. Kabeláž zde nebudu řešit. SSR1 vypočítám ze známého úbytku napětí a proudu. Napětí úbytku SSR je 1,6 V dle dokumentace. Proud bude brán v úvahu dle jistění. U zdrojů je výpočet proveden podle výkonu a účinností.

Tab. 13 - Koeficienty účinné chladicí plochy rozvaděče [20]

Způsob instalace (umístění) rozvaděče	Součinitel b (-)
Kryt je shora přístupný	1,4
Kryt je shora nepřístupný (např. u vestavěných rozvaděčů)	0,7
svislý povrch krytu (přední, boční nebo zadní panel) je přístupný	0,9
Zadní a boční přístup povrch je nepřístupný (např. při montáži na stěnu)	0,5
Boční povrch v případě řadových rozvaděčů jsou nepřístupné	0,5
Dno rozvaděče	nebereg se v úvahu

Tab. 14 - Ztrátové výkony zdrojů

Označení	Výkon zdroje P (W)	Účinnost η (-)	Ztrátový výkon P_z (W)
ZD1	156	0,87	23,31
ZD2, ZD3	12	0,77	3,58
ZD4, ZD5	15	0,855	2,54

Tab. 15 - Ztrátové výkony jističů a stykačů

Označení	Výkon zdroje P (W)
FA1	1,75
FA2	2,07
KM1, KM2	0,21

$$A_e = \sum_{i=1}^{i=n} A_{0i} b_i = v \cdot s \cdot b_c + v \cdot s \cdot b_z + 2 \cdot v \cdot h \cdot b_b + s \cdot h \cdot b_h =$$

$$A_e = 35,5 \cdot 53,5 \cdot 0,9 + 35,5 \cdot 53,5 \cdot 0,5 + 2 \cdot 35,5 \cdot 16,5 \cdot 0,9 + 53,5 \cdot 16,5 \cdot 1,4 =$$

3.20

$$A_e = 4600 \text{ cm}^2 = 0,46 \text{ m}^2$$

Kde:

A_e	účinná chladicí plocha (m ²)
A_{0i}	plochy rozvaděče (m ²)
b_i	koeficienty umístění ploch (-)
$b_{\check{c}}$	koeficient čelní plochy (-)
b_z	koeficient zadní plochy (-)
b_b	koeficient boční plochy (-)
b_h	koeficient horní plochy (-)
v	výška rozvaděče (cm)
s	šířka rozvaděče (cm)
h	hloubka rozvaděče (cm)

$$P_{ZZD1} = \frac{P_{ZD1}}{\eta_{ZD1}} \cdot (1 - \eta_{ZD1}) = \frac{156}{0,87} \cdot (1 - 0,87) = 23,31 \text{ W} \quad 3.21$$

Kde:

P_{ZZD1}	ztrátový výkon zdroje ZD1 (W)
P_{ZD1}	výkon zdroje ZD1 (W)
η_{ZD1}	účinnost zdroje ZD1 (-)

$$P_{ZSSR} = \Delta U_{SSR} \cdot I_{SSR} = 1,6 \cdot 6 = 9,6 \text{ W} \quad 3.22$$

Kde:

P_{ZSSR}	ztrátový výkon SSR (W)
ΔU_{SSR}	úbytek napětí na SSR (V)
I_{SSR}	předpokládaný proud protékající SSR (A)

$$P_Z = \sum P_{ZZD} + P_{ZSSR} + P_{ZFA1} + P_{ZFA2} + 2 \cdot P_{ZKM} =$$

$$P_Z = 23,3 + 2 \cdot 3,5 + 2 \cdot 2,5 + 9,6 + 1,75 + 2,07 + 2 \cdot 0,21 = 49,14 \quad 3.23$$

Kde:

P_Z	celkový ztrátový výkon (W)
P_{ZZD}	ztrátový výkon na zdrojích (W)
P_{ZSSR}	ztrátový výkon na SSR (W)
P_{ZFA1}	ztrátový výkon na jističi FA1 (W)
P_{ZFA2}	ztrátový výkon na jističi FA2 (W)
P_{ZKM}	ztrátový výkon na stykačích (W)

$$\vartheta_i = \frac{P_Z}{A_e \cdot K} + \vartheta_e = \frac{49,14}{0,46 \cdot 3,5} + 30 = 60,5 \text{ °C} \quad 3.24$$

Kde:

ϑ_i	vnitřní teplota rozvaděče (°C)
A_e	účinná chladicí plocha (m ²)
K	součinitel přestupu tepla (W·m ² ·K)
ϑ_e	vnější teplota (°C)

Tento výsledek oteplení je teplota vnitřku rozvaděče, při kterém dochází k přestupu tepla ztrátového tepla. Tento výsledek je v nejhorší možné variantě, kdy zatížení všech částí bude na limitní jmenovité hodnotě a okolní teplota bude 30 °C. Tohoto stavu ovšem nebude pravděpodobně dosaženo. Pro přesnější určení dostatečného tepelného dimenzování je potřeba údaj výrobce nebo testovací provoz v místnosti se stabilní teplotou a uvnitř rozvaděče umístit topné těleso. Změřením teploty lze zpětně dopočítat koeficient přestupu tepla K. Teplota uvnitř rozvaděče, ač dosahuje 60 °C, představuje pro zdroje hranici pracovní teploty. Stojí tedy za měření, zda teplota v provozu bude dosahovat hodnot blízcím se této hranici, případně vykonat opatření proti přehřívání pomocí ventilace.

3.12. Tlumicí rezistor, měřící rozsah

Protože transformátor v obvodu představuje velkou indukčnost, vznikají s každým sepnutím přechodové jevy. Tyto jevy působí negativně na síť, spínací prvky i na jisticí prvky, kdy mohou způsobit nechtěné vypnutí. Proto je do série s transformátorem zařazen rezistor 10Ω. Jeho hodnota je určena experimentálně tak, aby se neprojevoval příliš při měření, ale při proudovém nárazu nedošlo k překročení hodnoty zkratové spouště a vybavení jističe FA2.

Rezistor R100 byl zvolen experimentálně z důvodu snížení rozsahu proudu při měření. Díky tomuto jsme schopni měnit proud v rozmezí 0-70A na celém rozsahu transformátoru. S překlenutím tohoto rezistoru je maximální hodnota proudu nad 200A při spojení vodičem.

Rezistory průchodem proudu produkují velké množství ztrátového tepla, viz výpočty níže (3.25 a 3.26) Rezistory jsou proto předdimenzovány, aby povrchová teplota byla co nejnižší vzhledem k rozměrům i ceně. Byly tedy zvoleny rezistory 10Ω 300W a 100Ω 500W. I přesto při dlouhodobém měření dosahují vysoké teploty, o čemž jsem se přesvědčil při náhodném nechtěném dotyku. Rezistory je tedy třeba v budoucnu opatřit krytem proti doteku, ale tak, aby nebylo sníženo chlazení. Nabízí se využití perforovaného plechu se čtvercovým děrováním 10x10 mm.



Obr. 28 - Rezistory R10 (vlevo) a R100 (vpravo)

$$P_{R10} = R_{10} \cdot I_{Max}^2 = 10 \cdot 5^2 = 250W \quad 3.25$$

Kde: P_{R10} ztrátový výkon rezistoru R10 (W)
 R_{10} odpor rezistoru R10 (Ω)
 I_{Max} předpokládaný maximální proud transformátorem (A)

Tento následující vzorec vychází z naměřených hodnot a lineárního převodu transformátoru. Je patrné, že nerespektuje zvýšené ztráty při poklesu napětí. Naměřena hodnota proudu nakrátko při rozsahu 70A je přibližně o desetinu vyšší než vypočtený v tomto výpočtu.

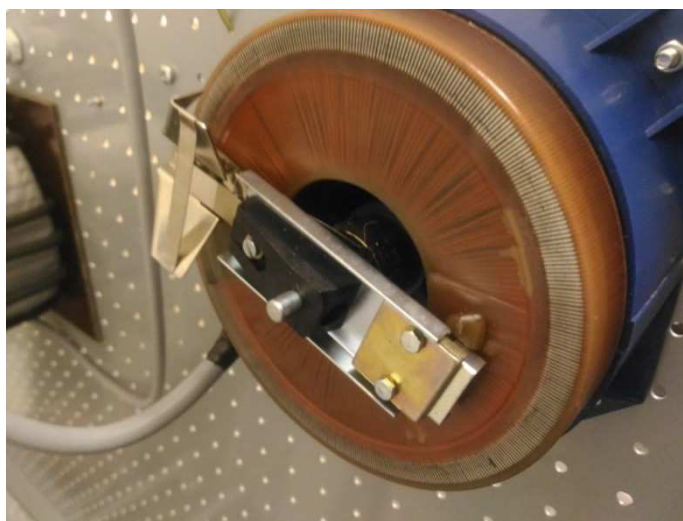
$$P_{R100} = (U_f - U_k \cdot N) \cdot I_{k1} \cdot N_R = \left(230 - 126 \cdot \frac{70}{200}\right) \cdot 4,56 \cdot \left(\frac{70}{200}\right) \quad 3.26$$

$$P_{R100} = 295W$$

Kde: P_{R100} ztrátový výkon rezistoru R100 (W)
 U_f fázové napětí sítě (autotransformátoru) (V)
 U_k napětí nakrátko pro rozsah 200 A (Tab. 9) (V)
 N_R poměr měřicích rozsahů (-)
 I_{k1} proud nakrátko pro rozsah 200 A (Tab. 9) (A)

3.13. Autotransformátor

Pro regulaci proudu je využit autotransformátor ESS106. Jedná se o transformátor v plastovém těle s nekrytou zadní částí jezdcem a vinutí. Napájení je přímo ze sítě. Maximální trvale odebíraný proud je 6,3A. Autotransformátor je umístěn přímo na panel. Celý transformátor je umístěn na zadní straně panelu. Vpředu je pouze nastavovací kolečko na izolované ose. Protože je autotransformátor nekrytý, nedoporučuji použití bez řádného krytí alespoň z perforovaného plechu splňující krytí alespoň IP 2x nebo vyšší případně plastového krytu a zároveň poskytující dostatečné větrání a možnost vizuální kontroly jezdcem. Při měření občas dochází k vyklonění uhlíkového sběrače a jiskření. Nyní je měřicí stanoviště v testovací verzi a muselo být provozováno bez krytu s maximální opatrností.



Obr. 29 - Autotransformátor s nekrytým jezdcem

Pro budoucí automatizované měření bude použit servopohon k nastavování proudu. Měřicí karta nemá dostatek výstupů pro tento pohon, proto bude třeba rozšířit zařízení o PLC nebo jednočipový expandér výstupů přes sériovou linku. Součástí servopohonu může být potenciometrický snímač polohy s využitím analogových vstupů karty, kterých je dostatek.

3.14. Ochrana před úrazem elektrickým proudem

Celé stanoviště je situováno na panelu z perforovaného plechu. Provede se připojení ochranného vodiče pomocí lisovacího kabelového oka doplněného o vějířovou podložku. Vodič bude průřezu 4mm^2 pro nechráněný vodič. Místo ochranného uzemnění bude označeno samolepicí značkou. Je třeba také zajistit vodivé spojení všech kovových částí panelu.

Přípevnění se provádí šroubovanými spoji. Panel pokrytý lakovaným povrchem vyžaduje, aby každý takovýto spoj byl vybaven vějířovou podložkou mezi panelem a šroubem nebo maticí, nebo tak, aby bylo zabezpečeno vodivé spojení všech kovových neživých částí dle normy ČSN 332000-5-51 ed.3, zvláště pak těch které jsou v blízkosti živých částí nízkého napětí nebo jejich krytů.

Pro montáž rozvaděče jsou použity čtyři šrouby M5 s maticemi. Kvůli modulové montáži a přemístitelnosti na panelu nebyly vrtány otvory do panelu ale do rozvaděče. Použitím této montáže vně rozvaděče došlo k porušení dvojité izolace. Šrouby zde musejí být uzemněny nebo vodivě spojeny s panelem. Při obsluze rozvaděče během provozu může docházet k zásahům do objektu a nedostatečným krytím proti nebezpečnému dotyku. Budou uzemněny i montážní DIN lišty pomocí PE svorek.

Ochrana před nadproudem, zkratem a tím i nebezpečným dotykem je provedena pomocí systému automatického odpojení od sítě. Jedná se o hlavní jistič s vybavovacím proudem 10 A s vypínací charakteristikou B. Vzhledem k pohyblivému přívodu a možnou záměnou fázového vodiče se středním pracovním vodičem stojí za uvážení využití dvoupólového jističe. Hlavní vypínač je zapojen dvoupólově právě z tohoto důvodu. Při použití v laboratořích doporučuji využívat jisticích obvodu s doplňkovou ochranou proudovým chráničem.

Proudový obvod je galvanicky oddělen transformátorem. Transformátor musí splnit požadavky bezpečného oddělení obvodů. Sekundární vinutí má vlastní PVC izolaci a mezi primárním a sekundárním vinutím je dvojité vrstvy izolace. Obvod tedy dle mého názoru splňuje požadavky SELV sítě. Každopádně se nedoporučuje manipulovat s obvodem ve stavu měření.

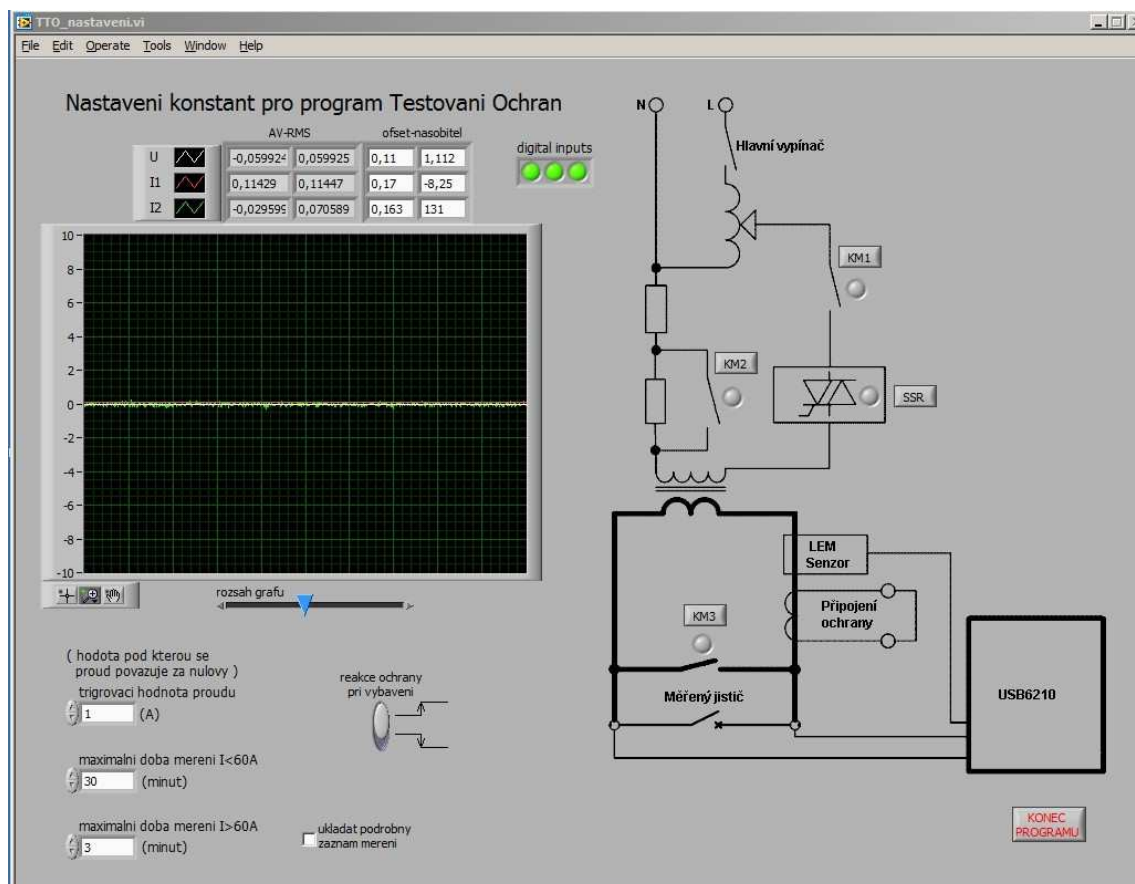
Zdroje jsou bez přímého uzemnění vyjma zdroje ZD1. Měřicí karta je spojena s uzemněním panelu přes rezistor $2,2\text{ k}\Omega$. Toto uzemnění přes rezistor je využito z důvodů rozdílů potenciálů dvou různých zásuvkových okruhů a možným přetokům proudu přes notebook a měřicí kartu. Bez uzemnění v izolované síti se zde projevovaly rušivé špičky.

3.15. Softwarová část

Tvorba obslužného softwaru měřicího stanoviště již nespádala do mého přímého pole působnosti, ale zpracovával ho doc. Ing. Václav Kolář, Ph.D. Software je vytvořen v grafickém systému LabVIEW.

První program je vytvořen pouze pro kalibraci a nastavení. Díky tomuto lze snížit chybu měření na minimum. Není tedy potřeba po kalibraci počítat chyby offsetu a signálu pokud se provede kalibrační srovnání s jiným přesným měřidlem. Dále lze nastavit reakce na náběžnou nebo sestupnou hranu signálu u měření vybavení ochrany (Vstup 1). Lze otestovat reakce všech spínacích prvku

i měření. Nedílnou součástí jsou i ochrany proti dlouhodobému zapnutí. Pro měření lze nastavit interval, jak dlouho bude měření probíhat. Pro rozsah 0-70A je čas zvolen 30 minut, ačkoliv zkouška jističe má trvat hodinu. Pro zvýšený rozsah do 200A je časová hranice 5 minut dostatečná a zároveň zabráňuje zničení transformátoru.



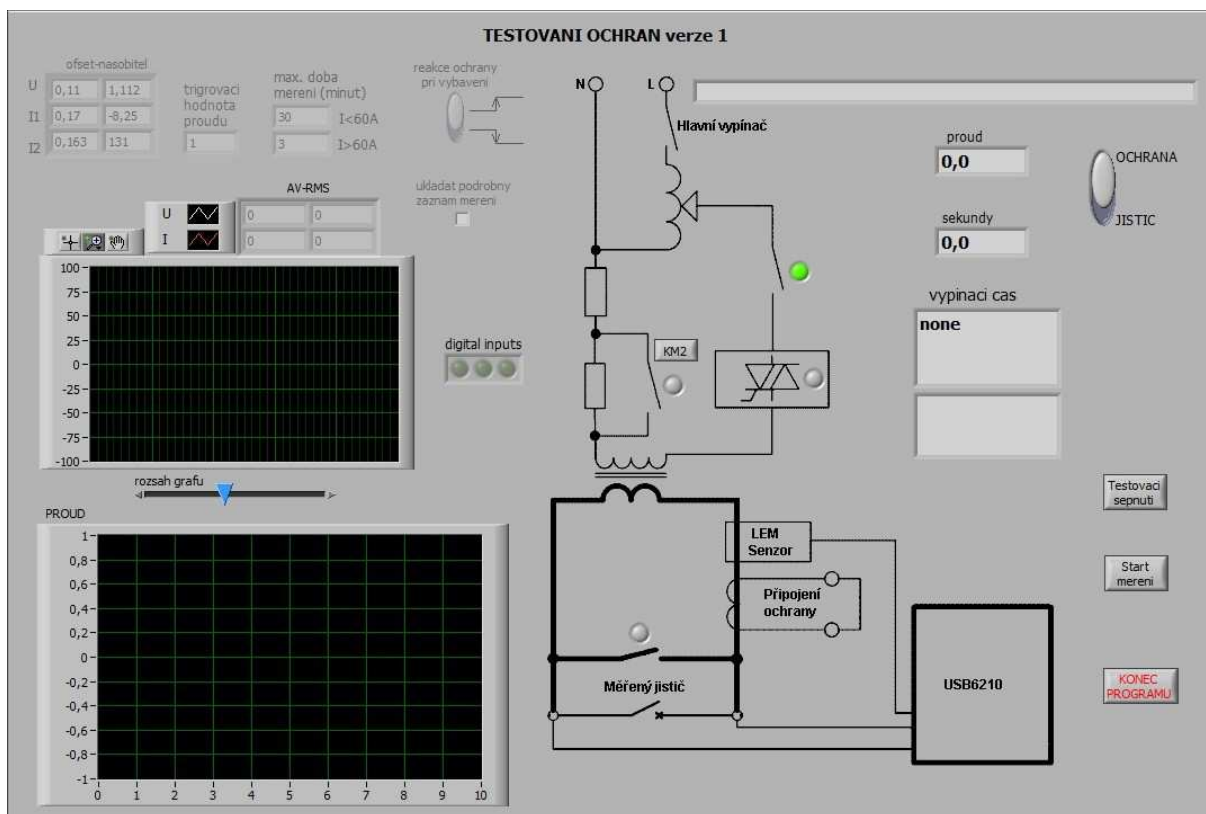
Obr. 30 - Program kalibrace měřicího stanoviště

Druhý software je určen přímo k měření. Lze přepnout pro měření jističe nebo ochran. Pro vybavení ochrany je určen vstup 1 na pravé boční straně rozvaděče. Logická 1 nastane proti kladnému pólu. U měření jističe je vypnutí diagnostikováno z naměřeného průběhu. Průběh proudu lze vidět vlevo v osciloskopickém okně. Níže je dlouhodobý průběh efektivní hodnoty pro vyhodnocení poklesu proudu vlivem oteplení obvodu při měření. U měření se totiž zjistilo, že oteplováním vodičů a transformátoru, ale i tepelné spouště jističe dochází k poklesu proudu. V automatizovaném měření je možno velmi jemnou regulací dojít kompenzace tohoto vlivu. Program má dva ovládací prvky. Dále lze vidět tři signálky označující stav binárních vstupů.

Testovacím tlačítkem dojde k sepnutí napájení a stykače KM3. Lze tedy nastavit požadovaný proud autotransformátorem. Po druhém stisknutí nebo vypršení časového limitu 60 sekund dojde vypnutí. Tlačítkem KM3 lze ovládat měřicí rozsah. Je nutné, aby si obsluha uvědomila, že před přepnutím rozsahu musí být autotransformátor na nule.

Druhé tlačítko spouští měření s nastavenou hodnotou proudu. Čas je počítán dvěma způsoby již zmíněnými o odstavec výše. Při příchodu vypínacího signálu nebo vypnutí jističe se měření zastaví a v okně vypíše naměřený čas na tisíce sekundy, střední hodnotu efektivní hodnot celého měření proudu a čas v minutách. Pro možnost chyby zápisu je zde i druhé okno, jenž zobrazuje hodnoty

předposledního měření, které se osvědčilo. Software nyní ještě není schopen záznamu naměřených hodnot do textového nebo databázového souboru. Pro momentální funkčnost to ani není zapotřebí. Při nastavování občas dojde k reakci ochrany a tím nesmyslnému výsledku měření, který v souboru bude působit pouze zmatek.



Obr. 31 - Program pro měření

Pro budoucí diagnostiku chyb je v programu zakomponován zapisovač záznamu z osciloskopu, který zaznamená průběh proudu po celou část měření. Pomocí speciálního programu jej lze později využít.

Oba programy musí být zavřeny pomocí tlačítka konec. Pádem programu nebo systému počítače nedojde k vypnutí sepnutých stykačů a ohrožení zařízení.

4. Měření charakteristik jističe a digitálních ochran

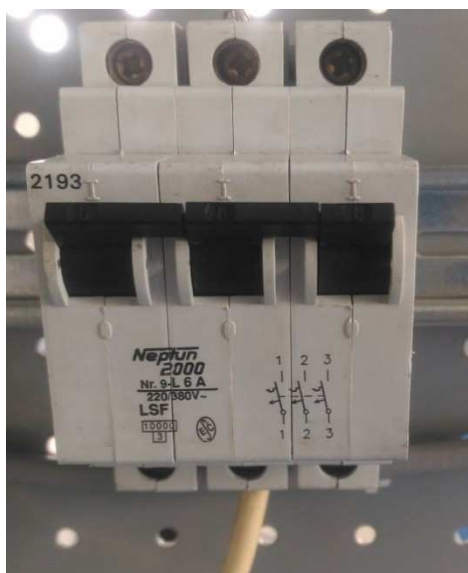
4.1. Měření jističe

Měření bylo prováděno na starším typu jističe Neptun 2000 LSF L 6 A. Jednalo se o třífázový jistič. Z důvodů úspory času nebyl proměřován každý pól zvlášť ani všechny tři spojené sériově, ale byl vybrán pouze jeden simulující jednofázový jistič. Jedná se o 6 A jistič s charakteristikou L, která odpovídá dnešnímu jističi s charakteristikou typu B. Připojení jsem provedl postříbřeným vodičem CYA 25 mm². Oteplení svorek od vodiče se na dotyk neprojevovalo, ale pro další zhodnocení je jistě vhodná termokamera. Při nastavování proudu bylo třeba vždy díky vnitřního odporu spouště nastavovat vyšší proud. Tuto nežádoucí vlastnost lze vykompenzovat pouze s automatizovaným měřením, kdy software dle zvoleného typu jističe navrhne opravu proudu dle předdefinované tabulky.

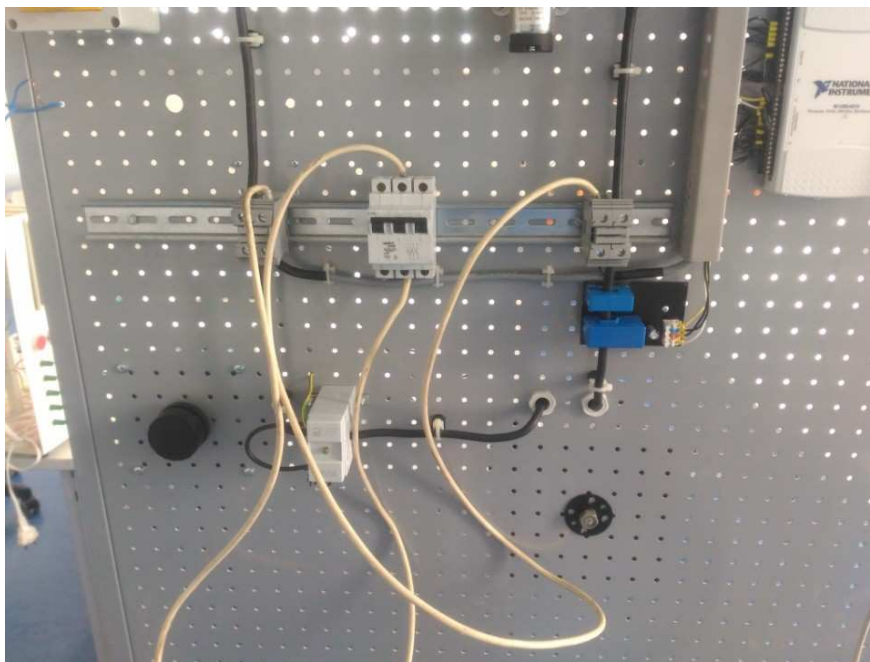
Další problematikou jak se zdá je dlouhý interval vychladnutí jističe. Jistě lze pomoci chlazení jističe ofukem mezi měřeními snížit interval pro vychladnutí. Při měření by měl být jistič zase v uzavřené skříni simulující rozvodnici. Z tohoto důvodu je mnou zvolený spoušť prostřední, abych simuloval umístění jističe mezi dvěma dalšími.

Měření probíhalo bez větších komplikací. Nejdelší čas měření jsem volil 30 minut. Při čekací době jedné hodiny zda jistič vypne nebo ne, měření zabere dvounásobnou dobu. Výsledkem je jen malé zpřesnění charakteristiky v dlouhých časech, což k výkyvům velikostí proudů (teplot) nemá příliš smysl.

Při proudech blízkých reakci zkratové spouště je krásně slyšitelné, jak reaguje. To obsluze poskytuje možnost snížit rozestup hodnot mezi proudy a dosáhnout přesnějšího naměření hodnoty vybavení spouště. Nastavovat proud lze po dvou až třech desetínách ampéru. Zajímavým faktem bylo, že při hodnot plížící se zkratovému proudu tato spoušť vypnula během různých intervalů od jedné sekundy po desetiny sekundy.



Obr. 32 - Měřený jistič Neptun L 6 A



Obr. 33 - Zapojení jističe na panelu

4.2. Měření digitální ochrany SPAG 332 C

Ochrana SPAG je jednou ze starších ochran firmy ABB. Primárně se jedná o ochranu generátorovou. Nadproudový měřicí článek je ale podobný jako u ochrany SPAJ 140C. Navíc se tato ochrana nacházela ve školní laboratoři. Zapojení bylo provedeno přes měřicí transformátor proudu ke vstupním svorkám ochrany se jmenovitým proudem 1 A. To proto, aby bylo dosaženo násobku proudu a možnosti změřit zkratovou spoušť. Ochrana je schopna trvalého přetížení do čtyřnásobku jmenovité hodnoty vstupu. V měření je možné použít i cizí měřicí transformátor. Výstupy z ochrany jsou pomocí relé. Spínací kontakt je využit pro binární vstup. Při vybavení dojde k impulzu nebo trvalému sepnutí výstupního relé a vyhodnocení času.

Prvním problémem vyskytujícím se u měření ochran bylo, že software nedokáže vyhodnotit krátký impuls z výstupu ochrany. Je tedy třeba ochranu nastavit tak, aby výstup zůstal trvale sepnut. Tím je ale třeba ručně provést reset ochrany jedním ze vstupů na úkor pohodlí obsluhy. V mém případě probíhalo resetování dokonce pomocí spínače SG4/4, který přepíná mód výstupu ochrany impuls/reset. Tento problém je nyní v řešení opravy softwaru nebo resetovací výstup. Volné výstupy na měřicí kartě však již nejsou.

Během měření nastal další problém, kdy vypočtená hodnota celkového průměru efektivních hodnot proudu a mnou vypočítané střední hodnoty těchto efektivních hodnot se rozcházelo u kratších měření až o jednotky ampér. U dlouhodobých měření nebyla tato odchylka patrná. Pravděpodobně je to způsobeno přechodným dějem zachyceným LEM čidly a tato hodnota ovlivňuje průměrné hodnoty. Při měření jističe a jeho zvýšeným odporem v obvodu tato odchylka nevznikala. Nejvíce ovlivněny byly hodnoty u měření zkratu, kdy čas měření se pohyboval okolo 0,04s proud dosahoval čtyřnásobku své efektivní hodnoty. Řešením je počítat tuto hodnotu až po odeznění tohoto rušivého elementu.



Obr. 34 - Digitální ochrana SPAG 332 C



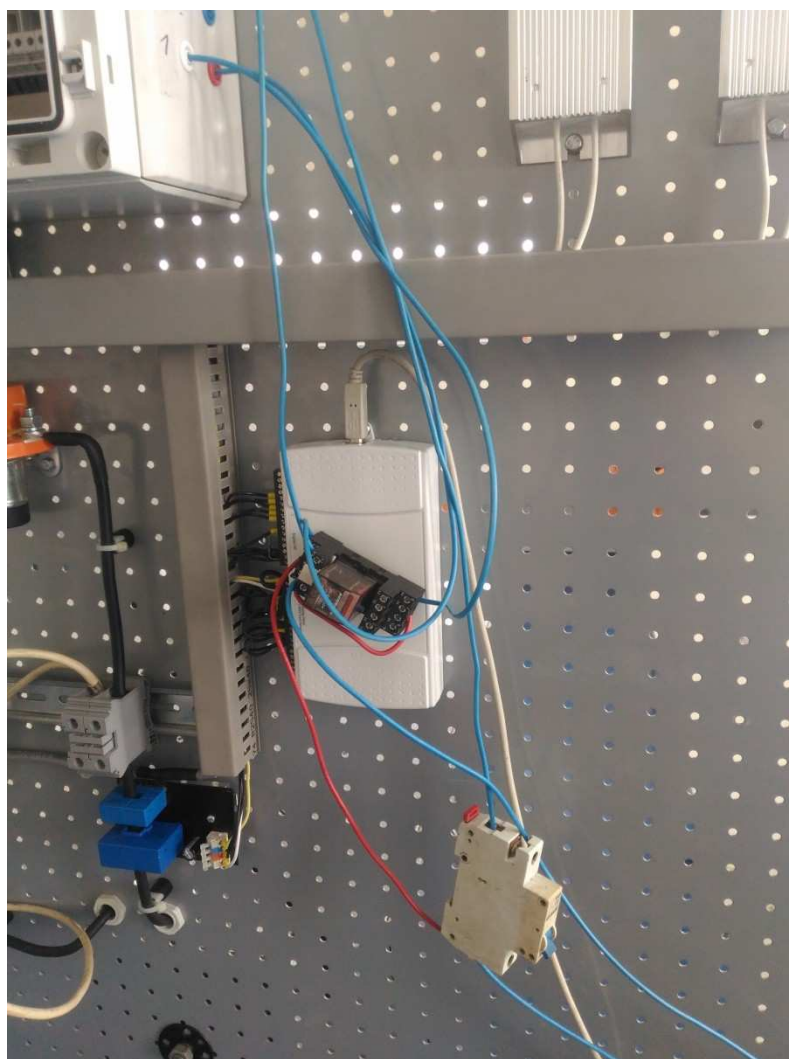
Obr. 35 - Pohled na celé pracoviště při měření

I přes výskyt malých technických problémů bylo měření velmi zdařilé. Hodnoty dokonce prokázaly chování ochrany při vyhodnocování a naznačily jakým způsobem je prováděno časování. Vše je patrné dále ve výsledcích měření. Jak je zde viditelné, pro propojení svorek proudového obvodu jsou použity vodiče k připojení jističe. V budoucím použití s ochranou PMS-01 předvídám problém v použití vodiče CYA 16mm². Jakožto nejslabší místo v obvodu bude dosahovat nejvyšších tepelných ztrát zvláště při opakovaném měření. Je žádoucí, aby ochranou byl provlečen co nejhrubší vodič i za cenu přidání šroubových spojek blízko ochrany.

4.3. Měření digitální ochrany REF615 F

Tato digitální ochrana disponuje výrazně větším počtem funkcí a možností nežli předešlá. Pro mé použití je nutné nejprve vypnout všechny nežádoucí hlídací stupně, které po startu měření okamžitě vyhodnotily poruchu. Jednalo se například o proudovou nesymetrii, podpětí, tepelné přetížení, směrové měření proudu nebo hlídání stavu vypínače. Pro srovnání jsem nastavil stejnou charakteristiku se stejnými hodnotami jako na ochraně SPAG. Opět bylo využito měřicího transformátoru proudu a proudového vstupu o jmenovitém proudu 1 A.

Měření provázely stejné problémy, jako jsem již výše zmiňoval. Protože jsem nechtěl trávit čas hledáním nastavení výstupu relé pro vypnutí, využil jsem pomocné relé zapojené jako přídržné, viz Obr. 36. Ačkoliv toto relé prodlužuje měření o reakční dobu, při dlouhodobých měření je tato hodnota zanedbatelná. Projevuje se až u reakce zkratové spouště. Nevýhodou tohoto systému je opět reset (vypnutí a zapnutí jističe).



Obr. 36 - Relé v přídržném zapojení, jistič pracuje pouze v roli vypínače

5. Vyhodnocení měření

5.1. Naměřené parametry jističe

Zde v tabulce jsou zaznamenány naměřené hodnoty proudu. Doba měření byla do 30 minut. První dvě hodnoty v tabulce tedy berme jako nevybavení jističe. Dokumentaci k tomuto jističi od výrobce Neptun jsem nenašel. Firma OEZ vyráběla stejné typy jak vzhledově, tak označením. Převzmu tedy z jejich dokumentace charakteristiku jističe pro alespoň přibližné srovnání.

Tab. 16 - Naměřené hodnoty charakteristiky jističe

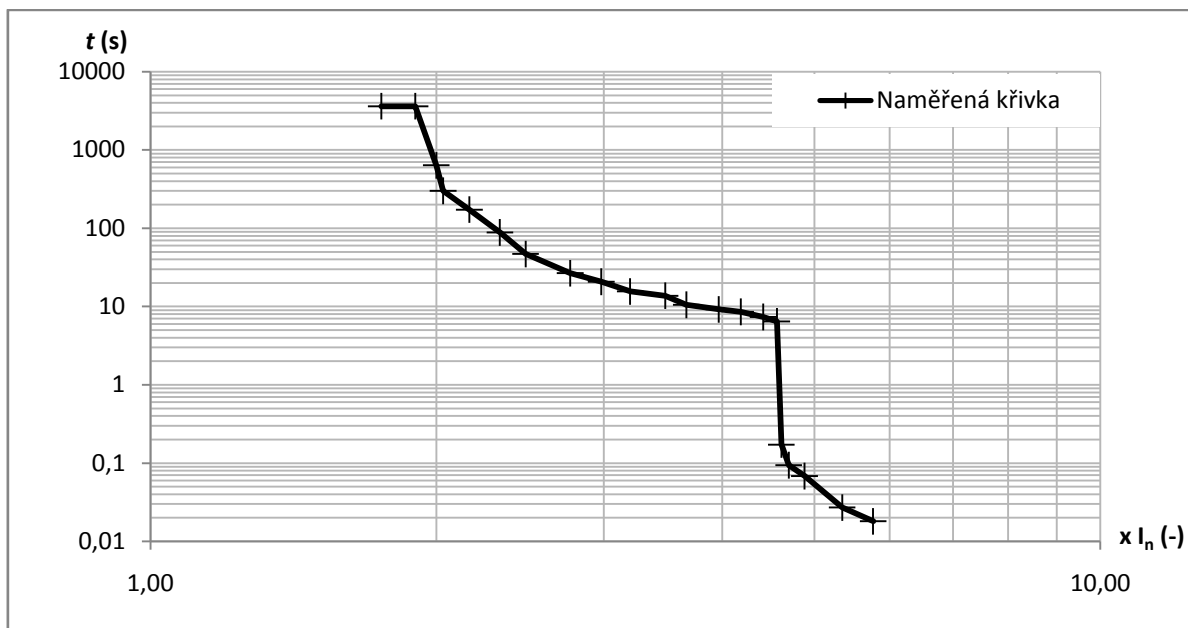
	I_{nast} (A)	$I_{\text{měř}}$ (A)	$x I_n$ (-)	t (s)
1	15	10,5	1,75	3600,0
2	16,1	11,4	1,90	3600,0
3	16,8	12	2,00	632,2
4	17,1	12,2	2,03	299,2
5	18,2	13	2,17	172,2
6	19,7	14	2,33	87,9
7	20,9	14,9	2,48	46,6
8	23,1	16,6	2,77	26,6
9	25	17,9	2,98	20,6
10	27,1	19,2	3,20	15,5
11	29,1	20,9	3,48	13,7
12	31,1	22	3,67	10,5
13	33,2	23,8	3,97	9,16
14	35	25,1	4,18	8,52
15	37,1	26,5	4,42	7,324
16	38	27,4	4,57	6,43
17	38,6	27,7	4,62	0,172
18	39,1	28,2	4,70	0,0939
19	40,2	29,3	4,88	0,068
20	42,6	32,1	5,35	0,027
21	45,6	34,6	5,77	0,018

Výpočet násobku proudu:

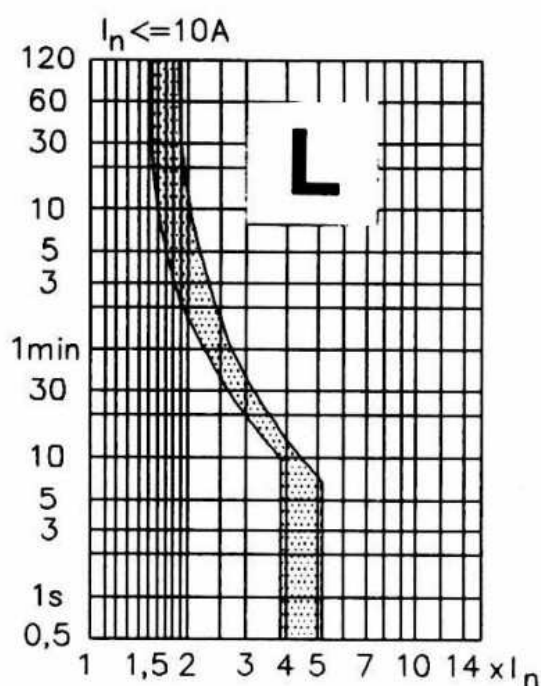
$$x I_n = \frac{I_{\text{měř}}}{I_n} = \frac{10,5}{6} = 1,75$$

5.1

Kde: $x I_n$ násobek proudu (-)
 $I_{\text{měř}}$ naměřená hodnota proudu (A)
 I_n jmenovitá hodnota proudu (A)



Obr. 37 - Vypínací křivka jističe Neptun 2000



Obr. 38 - Charakteristika jističe OEZ LSF L 6 A [19]

V grafu je patrné, jak tepelná spoušť reaguje na více než 1,5 násobek jmenovité hodnoty proudu. Měření se má dle normy provádět jednu hodinu. Je tedy možné, že jistič by zareagoval na nižší hodnotu proudu. Smluvený vypínací proud má být ovšem $1,45 \times I_n$, čehož jistič nejspíše nedosáhne. Chyba může být právě nadměrným prouděním vzduchu okolo jističe. Dále křivka přibližně kopíruje křivku z dokumentace těsně u vyšší hranice. Zajímavé zjištění je působení zkratové spouště,

kdy je vypínací čas v řádech desetin sekundy. Hodnota zkratové spouště je ve středu mezi křivkami předepsané charakteristiky. Vezmeme-li v úvahu stáří jističe a jeho používání, dá se říci, že je ve funkčním stavu.

V tabulce je dále patrné, jaký vliv má jistič mezi zkratovaným obvodem přes stykač KM3 a obvodem spojeným přes jistič. Tepelná spoušť, tedy přesněji její odpor, působí velký úbytek napětí a tedy i pokles proudu.

5.2. Naměřené parametry digitálních ochran

Ochrana REF a SPAG byly stejně nastaveny dle hodnot níže. Zvolená křivka definuje norma jako extrémně inverzní. Cílem mého měření je stanovit odchylku naměřené křivky od ideální vypočtené. Výpočet násobku proudu musí být doplněn o převod měřícího transformátoru. Vypočtený čas vychází z měřeného proudu a rovnice pro ideální křivku 2.1. Časový násobitel se rovná 1. Závislý nadproudový stupeň jsem nastavil na hodnotu $1 \cdot I_n$, zkratový nezávislý stupeň na hodnotu $2,5 \cdot I_n$.

Tab. 17 - Naměřené a vypočtené hodnoty ochrany SPAG 332

	$I_{\text{měř}} \text{ (A)}$	$x I_n \text{ (-)}$	$t \text{ (s)}$	$t_v \text{ (s)}$	Chyba $\delta_t \text{ (%)}$
1	47,6	1,19	1800,00	194,18	826,96
2	48,3	1,21	1800,00	176,40	920,42
3	50	1,25	331,10	143,64	130,50
4	51,1	1,28	318,45	127,85	149,09
5	51,8	1,30	308,53	119,35	158,52
6	52,6	1,32	160,08	110,80	44,47
7	53,7	1,34	158,64	100,71	57,52
8	54,5	1,36	112,99	94,35	19,76
9	55	1,38	107,28	90,72	18,25
10	55,9	1,40	106,39	84,78	25,48
11	56,8	1,42	106,63	79,50	34,13
12	57,7	1,44	83,17	74,76	11,25
13	59	1,48	80,10	68,73	16,54
14	60,4	1,51	64,66	63,12	2,44
15	61,7	1,54	64,22	58,58	9,63
16	63	1,58	53,78	54,57	-1,45
17	65	1,63	45,73	49,25	-7,15
18	68	1,70	41,41	42,75	-3,14
19	70,6	1,77	35,84	38,20	-6,18
20	75,8	1,90	29,37	31,18	-5,82
21	81,8	2,05	24,81	25,39	-2,29
22	86	2,15	21,61	22,31	-3,14
23	92	2,30	19,00	18,83	0,88
24	96,8	2,42	16,99	16,64	2,12
25	99,1	2,48	16,36	15,73	4,03
26	100,9	2,5225	0,069	0,02	245
27	104	2,6	0,048	0,02	140

Tab. 18 - Naměřené a vypočtené hodnoty ochrany REF 615

	$I_{\text{měř}}$ (A)	$x I_n$ (-)	t (s)	t_v (s)	Chyba δ_t (%)
1	41,0	1,03	1800,00	1596,05	12,78
2	42,6	1,07	759,00	601,97	26,09
3	43,6	1,09	502,22	429,56	16,92
4	44,6	1,12	379,04	332,20	14,10
5	45,2	1,13	301,10	291,80	3,19
6	46,3	1,16	242,58	237,78	2,02
7	47,6	1,19	198,60	194,18	2,27
8	48,7	1,22	170,53	167,53	1,79
9	50,4	1,26	141,73	137,51	3,07
10	52,7	1,32	110,58	109,81	0,70
11	55,1	1,38	92,10	90,03	2,30
12	60,2	1,51	65,08	63,87	1,90
13	65,6	1,64	48,98	47,82	2,42
14	70,7	1,77	39,21	38,04	3,07
15	74,6	1,87	33,57	32,60	2,96
16	80,5	2,01	26,56	26,49	0,24
17	85,4	2,14	22,71	22,71	0,00
18	90,5	2,26	19,69	19,62	0,35
19	95,1	2,38	17,47	17,37	0,60
20	99,1	2,48	15,77	15,73	0,27
22	99,6	2,49	15,67	15,54	0,87
21	100,4	2,51	0,037	0,02	85

$$x I_n = \frac{I_{\text{měř}}}{I_n} \cdot N_{MTP} = \frac{47,6}{1} \cdot \frac{5}{200} = 1,19$$

5.2

Kde: $x I_n$ násobek nadproudu (-)
 $I_{\text{měř}}$ naměřená hodnota proudu (A)
 I_n jmenovitá hodnota proudu (A)
 N_{MTP} převod transformátoru (-)

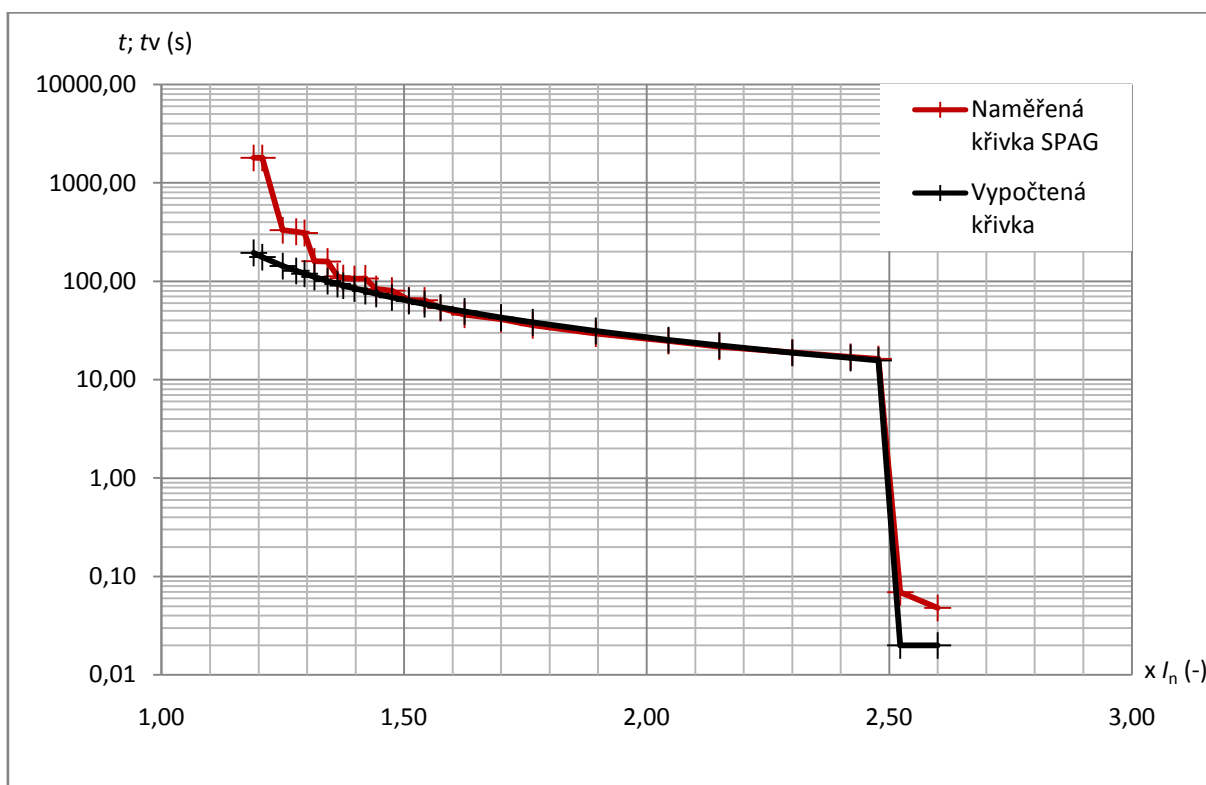
$$t_v = \left(\frac{A}{\left(\frac{x I_{\text{nam}}}{x I_{>}} \right)^C - 1} + B \right) \cdot k = \left(\frac{80}{\left(\frac{1,19}{1} \right)^2 - 1} + 0 \right) \cdot 1 = 194,18 \text{ s}$$

5.3

Kde: t_v vypočítaný čas (s),
 A, B, C konstanty dle tabulky (Tab. 8) (-)
 xI_{nam} hodnota násobku měřeného proudu (A)
 $xI_{>}$ nastavený násobek počáteční hodnota vybavovacího proudu (A)
 k časový násobitel (s)

$$\delta_t = \frac{(t - t_v)}{t_v} \cdot 100 = \frac{1800 - 194,18}{194,18} \cdot 100 = 826,9 \% \quad 5.4$$

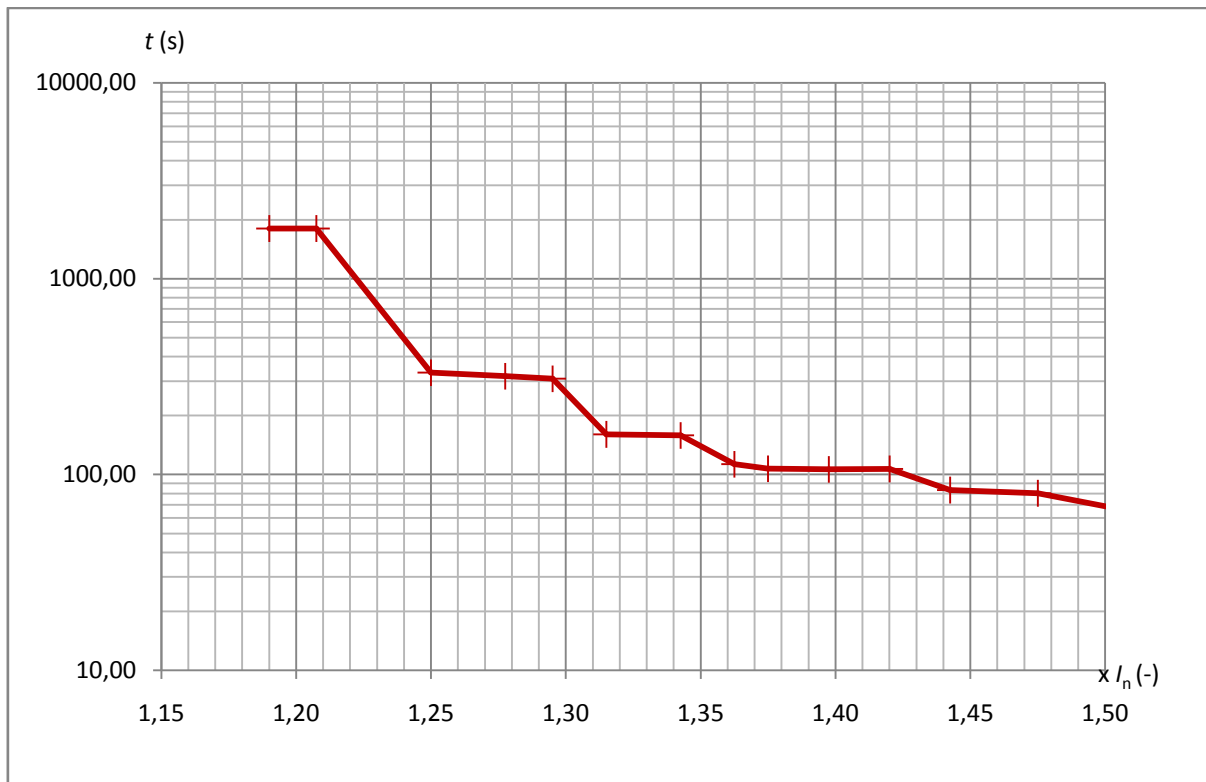
Kde: δ_t relativní chyba času (%)
 t naměřený čas (s)
 t_v vypočítaný čas (s)



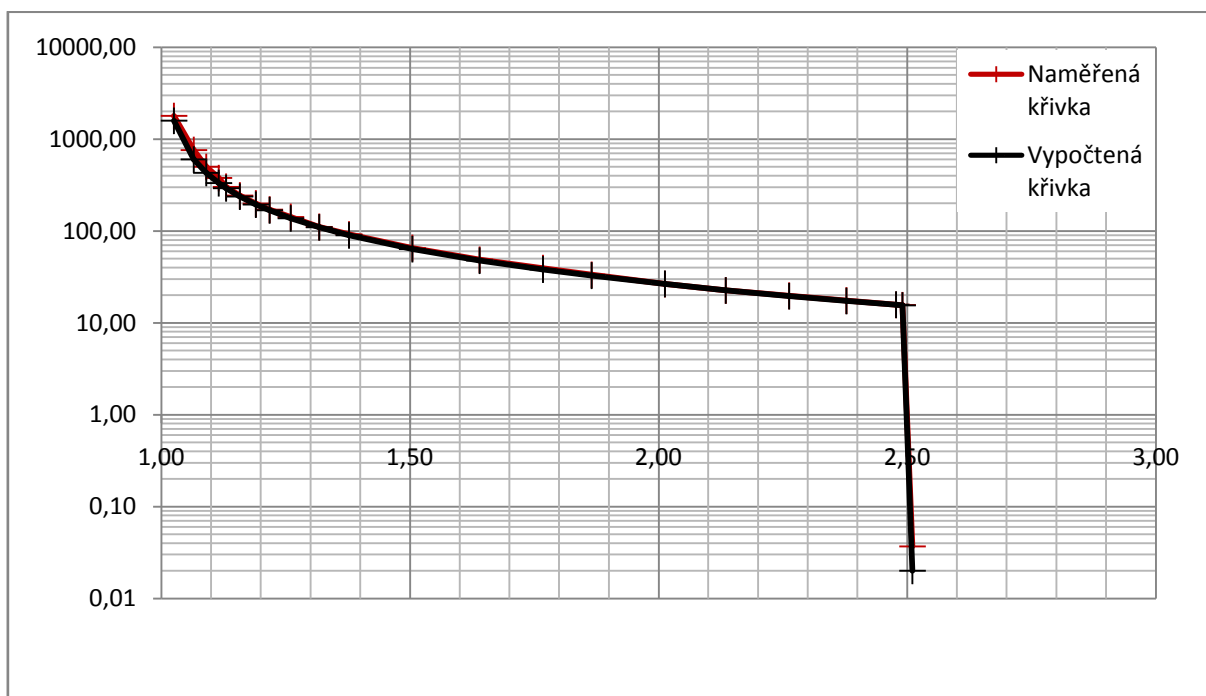
Obr. 39 - Srovnání naměřené závislosti a vypočtené závislosti vypínacího času na nadproudu

Ochrana SPAG 332 C se jevila jako spíše vadná hlavně v dlouhých časových intervalech. Měřená hodnota se velmi odchýlila od křivky. Dále je patrné, jak je prováděno časování. Nejedná se o hladkou křivku, ale o diskrétní hodnoty časování doplněné malou lineární závislostí. Více patrné je to v grafu na Obr. 40. Pro jistotu jsem provedl občasné opakované měření se stejnými hodnotami proudu, abych výsledek ověřil a eliminoval možnou chybu v měřící metodě. Výsledky dopadly vždy téměř stejně. Lze tedy usoudit, že tato ochrana využívá pro časovač nejspíše nějaký časový obvod s externími RC články, které mikroprocesor v kartě postupně přepíná. Výstup z ochrany SPAG byl přímo spojen se vstupem měřícího stanoviště. Signál tedy nemohl být nikterak spožděn. Přesto čas

vybavení ochrany při zkratu je delší než dvě periody síťové frekvence. Reakce měla proběhnout do 40 ms. Mnou změřená opakovaná hodnota je 0,048 ms. U tak krátkého měření může dojít ke spoždění signálu výstupním relé. Tento čas ale i tak splňuje požadavky pro použití v elektrických sítích, zvláště pokud přihlídneme k stáří ochrany.

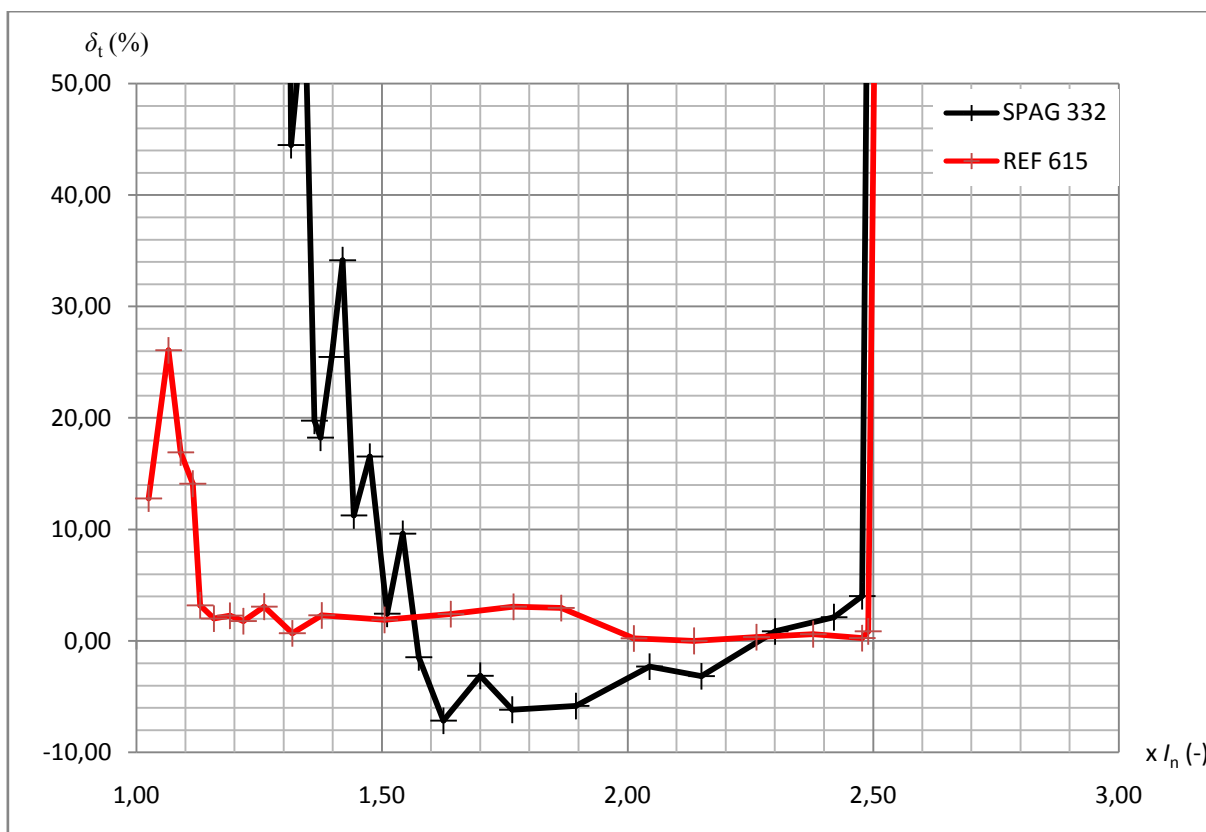


Obr. 40 - Přiblížení naměřené vypínací charakteristiky proudu ochrany SPAG 332



Obr. 41 - Srovnání naměřené a vypočtené vypínací charakteristiky ochrany REF 615

V grafu je okamžitě patrné, že ochrana REF 615, která je z nové generace a nepoužitá, dosahuje téměř přesných hodnot z ideální charakteristiky. Zkratová spoušť reaguje na hodnotu dvou a půl násobku jak bylo nastaveno. Přesnější nastavení zkratové spouště již nebylo možné kvůli citlivosti autotransformátoru u rozsahu 0 - 200A. Vypínací čas zkratového stupně ochrany je roven 37 ms. Tato hodnota není příliš průkazná kvůli přídržnému relé, které jsem musel použít. Nejkratší čas reakce ochrany je nastavitelný na 20 ms. V běžných rozvodech dojde k přerušení proudu až po průchodu proudu nulou, což odpovídá nejméně 40 ms. Rychlost tohoto stupně je vysoký. Značné zrychlení je možné ještě pomocí použití SSR relé, které dosahuje zpoždění signálu v desítkách μ s.



Obr. 42 - Relativní odchylka časování od ideální křivky

Na obrázku výše (Obr. 42) je srovnání chyb časování ochran. Jak lze vidět největší chyba vzniká při nejdelších časech. Je to způsobeno tím, že změnou teploty měřicího stanoviště se nepatrně mění i proud, který může ovlivňovat časování. Dále se podepisuje na této hodnotě přesnost měření a časování ochrany. Ta u typu REF 615 je zanedbatelná na rozdíl od ochrany SPAG, která dosahuje odchylky přes 800%. Kdyby měření nebylo zastaveno po 30 minutách, je pravděpodobné, že by tato odchylka ještě vzrostla. Velké odchylky vznikly při vypínání zkratu. Ochrana reagovala jak má, ale vlivem velmi krátkých časů je stanovení doby vypnutí nepříliš přesné. Ve střední oblasti ochrana REF dosahuje velmi dobrých výsledků, kdy výkyvy nejsou větší než 4%. V hodnotách nad dvounásobek je dokonce chyba nižší než 1%. Odchylku nelze přesně stanovit, zda je způsobena měřícím stanovištěm nebo ochranou. Pro tuto jistotu je třeba měřící stanoviště odzkoušet s jiným cejchovaným měřícím stanovištěm. O poznání hůře dopadla starší ochrana SPAG 332. Odchylky se pohybují v $\pm 10\%$.

5.3. Zhodnocení použitelnosti jednotlivých typů ochran

Zhodnocení bude provedeno z různých hledisek pro různé aplikace na bázi ostrovního systému. Je třeba si uvědomit nejen funkčnosti po elektrické stránce, ale i cenu zařízení, instalaci a praktičnost.

5.3.1. Chránění proti zkratu

Nejprve zhodnotím požadavky na jištění. Jak jsem již předem psal, ostrovní systémy se vyznačují měkkým napájecím zdrojem. U zkratu prakticky dojde k poklesu napětí takového zdroje na nulu a proud dosahuje maximálně třínásobku jmenovité hodnoty. Zkratová spoušť takového zařízení musí být u hlavního jištění za zdrojem s bezpečným odstupem od nejnižší zkratové hodnoty proudu v obvodu.

Mnou měřený jistič poskytl údaje o starších, ale dodnes používaných typech jističe. Úroveň zkratové spouště je pevně nastavená výrobcem v rozmezí 3 až 5 násobek. Tento údaj je ve velkém intervalu hodnot. Nelze tedy při koupi přesně říci, jaká je hodnota zkratového proudu. Pro takovéto použití je potřeba cejchované měření a ani tak nelze zaručit, že jističí prvek nezmění s léty charakteristiku. Firma OEZ vyrábí řadu jističů určených přímo pro tyto off-grid aplikace. Bylo by jistě zajímavé porovnání tohoto klasického typu, nového běžného typu a jističe přímo určeného do této aplikace. Bohužel, kvůli časovému zpoždění výroby měřicího stanoviště, jsem nebyl schopen provést tuto studii.

Co se tedy týká jističe a jeho elektromagnetické spouště, jsme názoru, že použití je jistě možné pro jednotlivé vývody, pokud splní předpoklad selektivity i s touto nejistotou reakční hodnoty. Vypínací čas nebyl taky příliš průkazný. Prakticky ale platí, že čím větší bude hodnota zkratového proudu, tím vzroste i síla působení spouště a dojde k rychlejšímu vypnutí. To je patrné v grafu (Obr. 37), kdy čas s rostoucím zkratovým proudem klesá.

Zkratové spoušť u digitálních ochran je plně nastavitelná po setinách násobku jmenovitého proudu. Tímto lze dosáhnout potřebné selektivity i u hlavního jištění zdroje nebo větších podružných odběrů. Obě ochrany zareagovaly na správnou hodnotu a reagovaly velmi rychle. Jelikož stejně rychle mohou reagovat ochrany uvnitř zdroje, není zaručena selektivita. Pro účely těchto aplikací musí ochrany reagovat za 10ms, což je polovina periody síťové frekvence. Za tuto dobu je možné vyhodnotit efektivní hodnotu proudu a určit zda jde o zkrat. Zařízení však mohou způsobovat při zapnutí krátkodobé špičky právě v první půlvlně, čím dojde k chybnému vybavení. Nejlepším řešením je časové odstupňování hlavní ochrany a ochrany implementované ve zdroji. Podřazené ochrany mohou mít již s nadřazenou blokování a zajišťovat logickou selektivitu.

5.3.2. Chránění proti přetížení

Pro jističe platí stejný princip jako u zkratové spouště. Nelze přesně stanovit čas reakce spouště na hodnotu nadproudu. Použití ve vývodech je možné. Jako hlavní jištění za zdrojem také, ale musí být dodržena odstupňovanost s vnitřní ochranou. Nevýhodou také je, že nadproudy jednotlivých větví mohou mít daleko delší vypínací čas než celkový součet procházející hlavním jističem. V tomto případě dojde k jeho vypnutí a selhání selektivity. Takovýto systém je nutno doplnit o hlídání zatížení jak jsem již několikrát zmínil v prvních dvou kapitolách.

Nadproudové spouště digitálních ochran jsou různě nastavitelné, a tak nejsme omezeni jejich výrobní řadou, což považuji za veliký klad. Díky časovému násobiteli zvolíme i vypínací čas. Pro nastavení selektivity s malým odstupňováním je tato volba ideální. Přesnost časovacího obvodu

nám poskytuje úzké časové rozestupy mezi ochranami při přetížení. Další předností je implementace digitálního měření a zpracování hodnot, čímž připojením k dohledovému systému získáme přehled o odběrech a přetíženích, díky čemuž můžeme eliminovat nastalý problém u jističů.

5.3.3. Finanční a praktické zhodnocení

Běžný jistič se pohybuje cenově v rámci stovek korun. Jistič je modulární a lze jej umístit do standardních rozvaděčů s DIN lištou. Nepotřebuje žádné další podpůrné prvky pro funkčnost, což se na ceně značně projeví. Tato cena jde ovšem na úkor možné selektivity systému. Pokud se jedná o malou ostrovní síť, je cena na prvním místě. Bude-li se jednat o zajištění napájení pro důležitý objekt například nemocnice, musí jít cenová stránka bokem. Zde musejí být eliminovány všechny hrozby špatné funkce ochrany.

Digitální ochrany typu SPAJ nebo REF jsou velmi drahé zařízení splňující vysoké nároky na spolehlivost. Nákup takovýchto ochrany, který půjde do desítek tisíců, je pro malé domácí aplikace naprosto nemyslitelný. Navíc každá ochrana k sobě vyžaduje měřicí transformátory proudu a napětí, což celou záležitost dále prodražuje. Montáž musí být provedena do rozměrných rozvaděčových celků. Dále vyžaduje spínací prvek dostatečně dimenzovaný na zkratový proud a zvláštní oddělený zdroj napájení se zálohou.

Možným kompromisem se zde nabízí ochrana zmíněná v kapitole 2.4. Tato ochrana spojuje vlastnosti digitálních ochrany a modulárnosti jističů. Nepotřebuje zvlášť proudový ani napěťový transformátor. Ty jsou implementovány přímo v ochraně. Cena ochrany by tak byla jistě příznivější, než u výše zmíněných ochrany.

5.3.4. Shrnutí

Digitální ochrany mnou nalezené a měřené jsou jistě vhodné do náročných aplikací, avšak pro domácí použití kvůli finanční a praktické stránce nejsou absolutně použitelné. Prostorové nároky jsou pro stavbu rodinného domku přímo katastrofické.

Jističe jsou vhodné, bohužel může nastat problém se selektivitou nebo je třeba tyto problémy řešit přidavnými zařízeními. Každopádně i se zařízením na bázi PLC a stykačů řídicích zatížení zdroje vyjde tato varianta mnohem levněji.

Závěr:

Celá tato práce je zaměřena na posouzení možnosti jištění ostrovních sítí s elektronickými zdroji (měniči), využívaných například ve fotovoltaických aplikacích. Nalezené možnosti jistě nejsou konečné a vývoj nových zařízení probíhá.

Prvotním úkolem pro mě bylo zpracovat celkovou problematiku týkající se ostrovních sítí. Hlavním zjištěním je pro další myšlenky je, jak se chovají tyto zdroje při zkratu. Je třeba si uvědomit, že tyto zdroje mají poměrně velkou vnitřní impedanci, která je a navíc nelineární. Při zatěžování dochází k malému poklesu napětí, ale po překročení hranice dovoleného přetížení začne napětí velmi strmě klesat. Díky tomuto chování také víme, že zkratový proud dosahuje maximálně třinásobku jmenovité hodnoty proudu. Srovnáním s rotačními měniči je toto číslo velmi malé. Dodržení několika stupňové selektivity v síti s těmito parametry je náročné z hlediska proudového i časového odstupňování. Vlivem vedení nedochází k tak razantním rozdílům mezi blízkým a vzdáleným zkratem. Omezení zkratového proudu má vytvářet samotný zdroj. To samozřejmě platí pro malé zdroje, u větších záleží na průřezech a vnitřní impedanci zdroje.

Dále jsem se zabýval samotnou selektivitou ochran. Je možné využít proudové a časové odstupňování. Ne vždy je tímto způsobem zajištěna správná funkčnost. Další možností bylo využití logické selektivity, kdy v krátkých časových intervalech mezi ochranami putují binární signály určující lokalizaci poruchy na bázi kaskády. Reaguje-li nejnižší ochrana, nadřazené ochrany reagují se zpožděním. Nereaguje-li podřazená ochrana, reaguje nejbližší nadřazená a její nadřazené reagují se zpožděním.

Pro testování nově vyvíjených ochran ale i již existujících je součástí práce i návrh a provedení měřicího stanoviště ochran. Pro měření je třeba vycházet z platných norem pro testování těchto přístrojů. Zkrácený výtah potřebných věcí je zpracován v druhé části kapitoly 1. Zde jsou definovány alespoň základní požadavky pro měření jističů i digitálních ochran. Důležité například je, že měření jističe pro běžné použití se provádí až 2 hodiny, kdy musí vybavit při proudu nad $1,45I_n$ a nesmějí vybavit při proudu do $1,13I_n$.

Druhou částí diplomové práce je nalézt a popsat inteligentní jistící prvky dostupné na trhu. Hledání prvku přímo určeného pro domovní instalace splňující požadavky bylo neúspěšné. Uchýlil jsem se tedy alespoň ke zmínce o chránění větších ostrovních sítí na ropných plošinách, tankerech a podobných zařízeních. Objevil jsem zmínku o ochraně série REF od firmy ABB. S těmito ochranami jsem se již i v praxi párkrát setkal a viděl jsem jejich použití i na síti nízkého napětí jako hlavní ochranu přívodu do rozvaděče. Mimoto jsem chtěl tuto novou ochranu srovnat se starším typem od této firmy, což se později zdařilo. Jako třetí typ je zde zmíněn vývojový prototyp ochrany určené přímo pro domácí ostrovní systémy. V budoucnu ale není vyloučeno použití i ve složitějších systémech. Bohužel tato ochrana nemá vytvořen funkční firmware a tak ji nebylo možno vyzkoušet.

Třetí částí práce je zpracování návrhu měřicího stanoviště a následná stavba zařízení. Celý nápad vznikl od vedoucího mé diplomové práce, který se zabývá právě vývojem nové ochrany a toto zařízení má pomoci s nastavením a testováním. Dále má stanoviště umožnit testování elektromechanických jističů, z čehož vznikl požadavek na obvod s regulací proudu 0 až 200 A. Prvotní myšlenka počítala s elektronickou zátěží a vhodně dimenzovaným snižujícím transformátorem. Tato varianta ale byla zavrhnuta po zjištění, že elektronická zátěž pracuje pouze se stejnosměrným napětím. Druhá varianta využila starý díl z autotransformátoru pro vlastní výrobu transformátoru s odolností vůči spojení na krátko. První testovací měření s experimentálním počtem závitů ukázaly variantu funkční a bezpečnou. Bylo třeba vyřešit měření, ovládání a zaznamenávání

naměřených hodnot. Provedl jsem návrh zapojení stanoviště a po několika konzultacích s vedoucím a úpravách bylo schváleno zapojení stanoviště.

Mým dalším úkolem bylo stanoviště fyzicky vyrobit. Montáž je provedena na pojízdném stojanu s plechovým panelem. Všechna zařízení jsou vyspecifikovaná výše v práci. To celé musí být provedeno s ohledem na bezpečnost. Kvůli nedostatku materiálu nejsou všechny výše popsané bezpečnostní prvky namontovány. Protože měřicí stanoviště není určeno jen pro jednu obsluhu, ale i pro měřicí úlohy v rámci vyučování nelze bezpečnost zanedbat. S fyzickým provedením nevznikaly příliš velké problémy. Část projektu jsem prováděl v domácích podmínkách, druhou část poté v prostorách školy. Občas se vyskytovaly mírné logistické problémy, kdy se daný materiál měl nacházet v prostorách školy, ale nenacházel. Po fyzickém odzkoušení stanoviště bylo nutné vytvořit obslužný software. O ten se postaral doc. Ing. Václav Kolář, Ph.D.

Mými měřeními jsem ověřil jak funkčnost měřicího stanoviště, tak i jednotlivých prvků ochrany. Měření vykazovalo vcelku přesné výsledky. Zajímavým zjištěním je funkce časovače ochrany SPAG 332 C, který nemá hladký průběh závislosti času na nadproudu nýbrž diskrétní charakter této křivky. Dalším zjištěním bylo pár drobných chyb v obslužném softwaru, které vyžadovaly úpravu postupu měření i zapojení v případě ochrany REF 615. Chyby jsou popsány části věnující se měření.

Poslední částí je vyhodnocení naměřených hodnot. U každého měření jsem nejprve volil stejný rozestup bodů na křivce a posléze doměřoval body v zakřivení kvůli zpřesnění průběhu. Minimální počet bodů křivky je 20. Výsledkem mého měření je důkaz o vhodnosti digitálních ochrany v ostrovních systémech. Finanční stránka věci však není vůbec příznivá. Proto tyto ochrany nejsou pro běžné domácnosti vůbec využitelné. Použitelné mohou být v průmyslu nebo odvětvích s vysokými nároky na spolehlivost dodávky elektřiny.

Pro budoucí automatizované měřicí stanoviště je třeba k autotransformátoru dodat pouze vhodný servopohon s potenciometrickým určením polohy, expandér výstupů měřicí karty nebo zvlášť jednočipový I/O modul k USB například na bázi Arduina pro ovládání a vhodně upravit ovládací software. Výhodné je i ovládání stykačů zabezpečit proti pádu softwaru. Při pádu nyní nedojde k vypnutí stykačů napájení a tím možné nebezpečné situaci. Řešením je právě možný expandér výstupu po emulované sériové lince z měřicí karty s vnitřní ochranou na bázi watchdogu.

Zdroje

- [1] Hadjsaid, N., Sabonnadiere, J.-C., Smart Grids, první vydání, Wiley-ISTE, 2012, 350 s., ISBN: 978-1-84821-261-9
- [2] MISAK, S. and PROKOP, L., 2010. Off-grid power systems, 2010 9th Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEEIC 2010 2010, pp. 14-17.
- [3] MISAK, S. and PROKOP, L., 2010. Technical - Economic analysis of hybrid off-grid power system, Proceedings of the 11th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2010, EPE 2010, 2010, pp. 295-300.
- [4] AHMAD, S., AHMAD, A. and YAQUB, R., 2017. Optimized energy consumption and demand side management in smart grid. Smart Technologies: Breakthroughs in Research and Practice. pp. 550-574.
- [5] ATES, Y., UZUNOGLU, M., KARAKAS, A. and BOYNUEGRI, A.R., 2014. The case study based protection analysis for smart distribution grids including distributed generation units, 12th IET International Conference on Developments in Power System Protection, DPSP 2014 2014, pp. 1-5.
- [6] ČSN EN 60255-151 Měřicí relé a ochranná zařízení - Část 151: Funkční požadavky pro nadproudovou/podproudovou ochranu. Praha: UNMZ, 2012, Třídící znak: 333432.
- [7] ČSN EN 60947-6-2 ed. 2 Spínací a řídicí přístroje nn - Část 6-2: Spínače s více funkcemi - Řídicí a ochranné spínací přístroje (nebo zařízení) (CPS). Praha: UNMZ, 2003, Třídící znak: 354101.
- [8] ČSN EN 60947-2 ed. 3, Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 2: Jističe. Praha: UNMZ, 2007, Třídící znak: 354101.
- [9] ČSN 332000-5-51 ed. 3, Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-51: Výběr a stavba elektrických zařízení - Všeobecné předpisy. Praha: UNMZ, 2010, Třídící znak: 332000.
- [10] Isolated current and voltage transducers Characteristics – Applications – Calculations 3rd Edition, [online], LEM Components 2006 [cit. 2018-4-23]. Dostupné z WWW: http://www.lem.com/images/stories/files/Products/P1_5_1_industry/CH24101E.pdf
- [11] Current transducer LA 55-P, [online], LEM Components 2015 [cit. 2018-4-23]. Dostupné z WWW: http://www.lem.com/docs/products/la_55-p_e.pdf
- [12] Current transducer LA 200-P, [online], LEM Components 2013 [cit. 2018-4-23]. Dostupné z WWW: <http://www.lem.com/docs/products/la%20200-p.pdf>

-
- [13] SPECIFICATIONS USB-6210 16 AI (16-Bit, 250 kS/s), 4 DI, 4 DO USB Multifunction I/O Device [online], National Instruments 2017 [cit. 23.04.2018]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/375194d.pdf>
- [14] USB-6210 Pinout - Multifunction I/O Device Manual - National Instruments, [online], National Instruments 2017 [cit. 23.04.2018]. Dostupné z: <http://www.ni.com/documentation/en/multifunction-io-device/latest/usb-6210/pinout/>
- [15] 13 Vznik elektrického proudu - PDF. Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací.[online] [cit. 23.04.2018]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/184283-13-vznik-elektrickeho-proudu.html>
- [16] Gallus, K.: Návrh koncepce chránění v Off-GRID systémech, Diplomová práce, Ostrava, 2016.
- [17] Kompaktní jističe BC160, [online] 2017 [cit. 23.04.2018]. Dostupné z: http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/bc160-m001-2017_cz_sk.pdf
- [18] Kompaktní jističe BL1000S. [online] 2017 [cit. 23.04.2018]. Dostupné z: http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/2144-Z01-11_CZ_SK.pdf
- [19] Jističe LSF. [online] 2017 [cit. 23.04.2018]. Dostupné z: http://www.oez.cz/file/704_1_1/
- [20] Tepelné ztráty rozvaděčů. [online] [cit. 23.04.2018]. Dostupné z: http://feil.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/epez/spolecne/Tepelne_ztraty_rozvadecu
- [21] IED pro chránění a ovládání vývodů REF615 Aplikační manuál. [online] ABB 2012 [cit. 23.04.2018]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/0f904438c7317b01c1257b500036486d/REF615_appl_757137_CZc.pdf
- [22] IED pro chránění a ovládání vývodů REF615 Popis a technická data výrobku. [online] ABB 2014 [cit. 23.04.2018]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/fbceacb37aa648f886f789fccb497144/REF615_pg_756625_CZd.pdf
- [23] SPAJ 140 C Overcurrent and earth-fault relay - User manuals and technical description. [online] ABB 1997 [cit. 23.04.2018]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/e443faf99f1d91f9c12572a0004710e4/FM_SPAJ140C_750629_ENdad_2010.pdf
-

[24] Generato protection relay SPAG 332 C. [online] ABB 1999 [cit. 23.04.2018]. Dostupné z: <https://library.e.abb.com/public/49b5a284525bdeaac1257b0c00561573/spag332.pdf>

[25] DUDEK, J. Základní požadavky na Power Managment System 2015 [cit. 23.04.2018].

Seznam příloh:

Příloha A: 2 listy: Soupis materiálu měřicího stanoviště

Příloha B: 1 list: Rozložení prvků na panelu A4

Příloha C: 1 list: Rozložení prvků v rozvaděči A4

Příloha D: 1 list: Obvodové schéma měřicího stanoviště A3

Příloha E: 1 list: Zapojovací schéma rozvaděče měřicího stanoviště A3

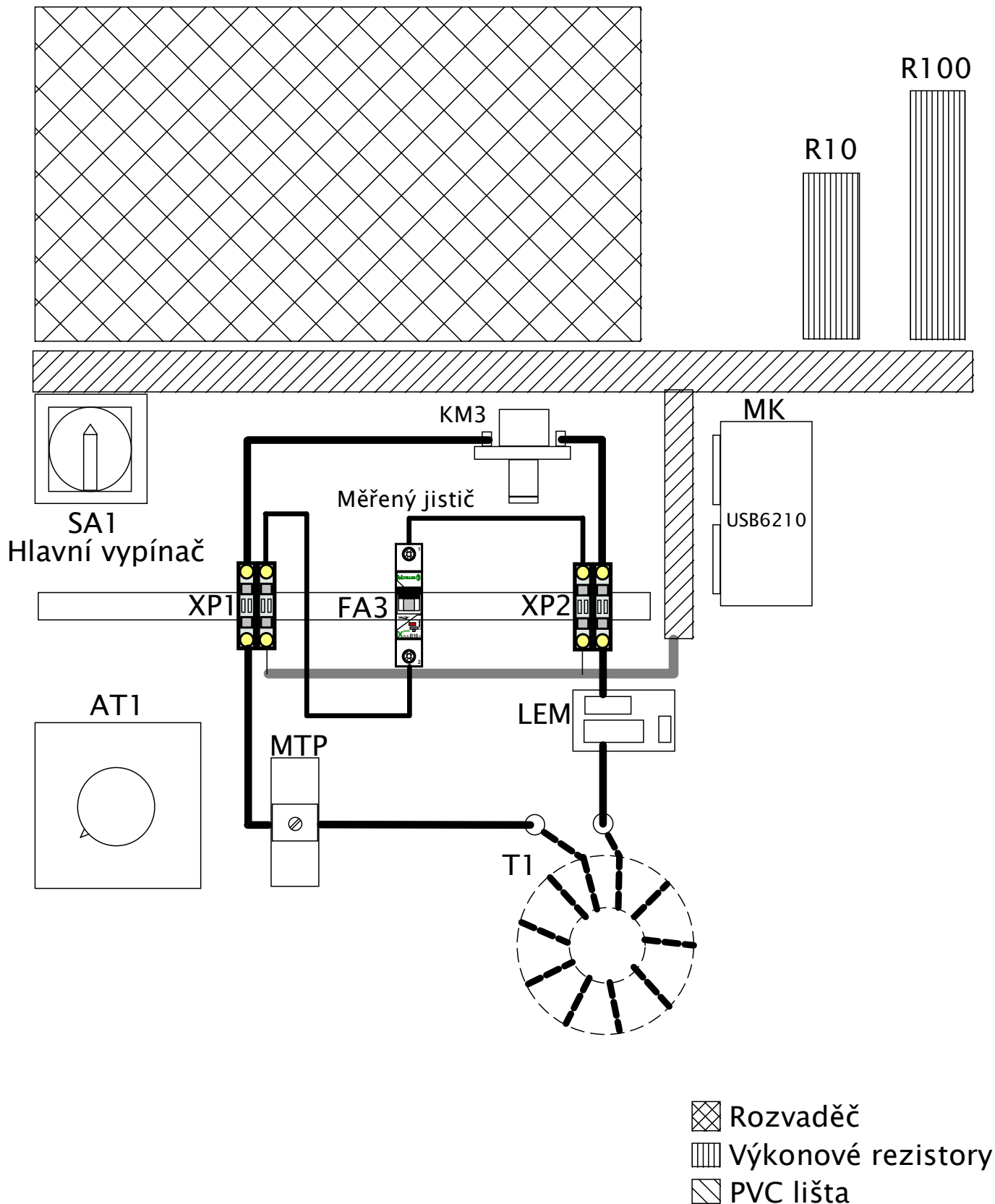
Příloha F: 1 list: Zapojovací schéma panelu měřicího stanoviště A3

Příloha A

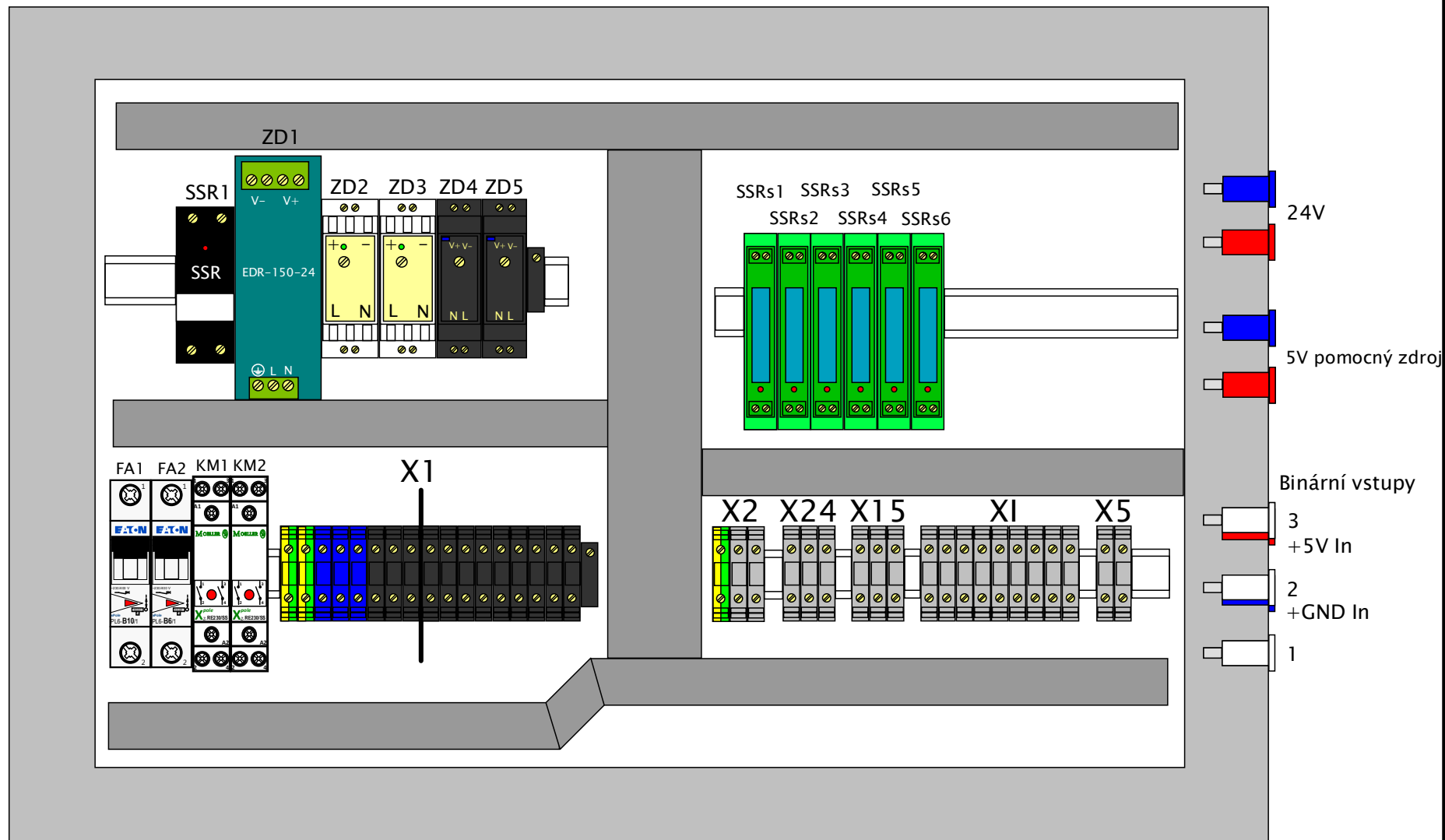
Soupis materiálu měřicího stanoviště


	Označení	Materiál	Typ	Specifikace	Množství ks, m	Odkaz
1	AT1	Autotransfornátor	ESS 106	230 V 6,3A	1	
2	FA1	Jistič	Kanlux KS6/1	B 10A 6kA (10kA)	1	
3	FA2	Jistič	Kanlux KS6/1	B 6A 6kA (10kA)	1	
4	KM1; KM2	Stykač	ISKRA 30.046.861	230V 25A, Ovládání 24V SS	2	Stykač
5	KM3	Stykač pro proudovou část	ZJ200A	200A; 24V	1	Stykač
6	LEM1	LEM senzor	LA 55-P	50A / 50mA ±15 V	1	LA 55-P
7	LEM2	LEM senzor LA 200-P	LA 200-P	200A / 100mA ±15 V	1	LA 200-P
8	MK	Měřicí karta	USB6210		1	Karta
9	MTP	Měřicí transformátor proudu	F&F TI-200	200/5A 0,5% chyba	1	MTP
10	R1	Rezistor bočniku LEM	15,4 Ω	0,25 W 0,5%	1	
11	R10	Výkonový tlumicí rezistor	SR PASSIVES AL300W-10R	10R; 200W	1	Rezistor
12	R100	Výkonový tlumicí rezistor	SR PASSIVES AL500W-100R	100R; 500W	1	Rezistor
13	R2	Rezistor bočniku LEM	123 Ω	0,25 W 0,5%	1	
14	R3; R4	Rezistory	1 kΩ	0,25 W	2	
15	R5	Rezistor k uzemnění	2,2 kΩ	0,25 W	1	
16	R6	Rezistor 5V-15V GND	620 Ω	0,5 W	1	
17	SA1	Vypínač napájení	LOVATO ELECTRIC GX1610P25	230V 10A (6A) ruční ovládání	1	Vypínač
18	SSR1	Výkonové SSR	ELCO SC1-30D25240A	24-230V; 25A; Spínání v 0; ovládání	1	SSR
19	SSRs1-3	Optočleny - SSR DC	ANLY ELECTRONICS ASR-M04DD-1	3-60VDC; 4A; ovládání 3-32VDC	6	Optočleny
20	T1	Transformátor		230/5 V 200 A Sekundár navinutý CYA 25mm2	1	Vlastní výroba
21	X1	L černá POKÓJ ZUG-G10 A11-0203			12	Svorka
22	X1	N modrá POKÓJ ZUG-G10 A11-0206			3	Svorka
23	X1	Bočnice ČERNÁ POKÓJ PSU-10 A41-0203			2	Svorka
24	X1	Spojka POKÓJ ZKU-10/2 A42-0C11		10 propojek	1	Spojka
25	X2; X24; X5; XI; X15	Šedá POKÓJ ZUG-G10 A11-0208			19	Svorka
26	X2; X24; X5; XI; X15	Bočnice ŠEDÁ POKÓJ PSU-10 A41-0203			6	Svorka
27	XP1; XP2	Svorky pro silový obvod	DEGSON ELECTRONICS DC35-01P-11-00AH		4	svorky
28	ZD1	Pomocný zdroj pro stykače	(MEAN WELL EDR-150-24)	24V; 6,5A	1	Zdroj
29	ZD2;ZD3	Pomocný napájecí zdroj	(MEAN WELL HDR-15-5)	4,75 - 5,5V; 2,4A	2	Zdroj

30	ZD4; ZD5	Napájecí zdroj pro LEM	MEAN WELL HDR-15-15	±15V	2	<u>Zdroj</u>
31		Vodič CYA (licna)	černá	1x25mm ²	5	<u>CYA</u>
32		Vodič CYA (licna)	černá	1x16mm ²	1	<u>CYA</u>
33		Plastový rozvaděč			1	
34		DIN montáž	DRP-02		1	<u>Montaz</u>
35		DIN lišta		2 m	1	
36		Panelové zdiřky		červené	3	<u>Zdiřka</u>
37		Panelové zdiřky		Bílé	3	<u>Zdiřka</u>
38		Panelové zdiřky		mordré	3	<u>Zdiřka</u>
39		Faston konektory		Lisovací 6,3mm	9	<u>Faston</u>
40		Vodiče pro vydrátování ovládání panelu CYA		tmavěmodrý 1,5 mm ²	10 m	
41		Vodiče pro vydrátování ovládání panelu CYA		Tmavěčervený 1,5 mm ²	10 m	
42		Vodiče pro vydrátování ovládání panelu CYA		černý 2,5mm ²	5	
43		Vodiče pro vydrátování ovládání panelu CYA		modrý 2,5mm ²	3	
44		Vodiče pro vydrátování ovládání panelu CYA		zelenožlutý 2,5mm ²	1	
45		Lištu vedení vodičů pro vydrátování panelu	KSS HVD-7	40x60 mm	1 m	<u>Lišta</u>
46		Lištu vedení vodičů pro vydrátování panelu	KKS-HVDV 2	25x40 cm	2 m	<u>Lišta</u>
47		Připojovací pohyblivá šňůra s koncovkou		3x1,5mm ² ; 2m	1	<u>Šňůra</u>
48		Propojovací hřeben silových svorek	DEGSON ELECTRONICS DFA35-02P-11-00AH		4	<u>Hřeben</u>
49		Průchodky	PG11		5	
50		Smršťovací bužírka		černá 12mm	0,5 m	<u>Smršťovačka</u>
51		Šroub, matice, podložka	M3		10	
52		Šroub, matice, podložka	M4		30	
53		Panel pro instalaci zařízení s políčkou pro ochranu			1	
54		Svorky PC-6-PE			2	
55		Zařezky PHOENIX CONTACT E/NS 35 N 0800886			12	<u>Zařezky</u>
56		Drobný materiál (lisovací dutinky, kabelová oka, stahovací pásky, spirály, smršťovací bužírky)				



Oddělení	Technický referent	Kreslil Bc. Václav Balwar	Přezkoušel	
		Druh dokumentu	Status dokumentu	Změna
		Název, doplňující název Rozložení prvků na panelu	Č. dokumentu	Měřítko 1:25
			Datum vydání 20.4.2018	Jazyk Český
				List 1/1



Oddělení	Technický referent	Kreslil Bc. Václav Balwar	Přezkoušel	
		Druh dokumentu	Status dokumentu	Změna
		Název, doplňující název Rozložení přístrojů v rozvaděči	Č. dokumentu	Měřítko 1:2,5
			Datum vydání 26.4.2018	Jazyk Český List 1/1